BnF Gallica

La genèse de la science des cristaux / par Hélène Metzger

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

{BnF Gallica

Metzger, Hélène (1889-1944). Auteur du texte. La genèse de la science des cristaux / par Hélène Metzger. 1969.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :
- La réutilisation non commerciale de ces contenus ou dans le cadre d'une publication académique ou scientifique est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source des contenus telle que précisée ci-après : « Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France » ou « Source gallica.bnf.fr / BnF ».
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service ou toute autre réutilisation des contenus générant directement des revenus : publication vendue (à l'exception des ouvrages académiques ou scientifiques), une exposition, une production audiovisuelle, un service ou un produit payant, un support à vocation promotionnelle etc.

CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter **utilisation.commerciale@bnf.fr**.

LA GENÈSE

DE LA

SCIENCE DES CRISTAUX

PAR

HÉLÈNE METZGER

Nouveau tirage

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
ALBERT BLANCHARD
9, RUE DE MÉDICIS, PARIS

1969

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

LA GENÈSE

DE LA

SCIENCE DES CRISTAUX

PAR

HÉLÈNE METZGER

Nouveau tirage

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
ALBERT BLANCHARD
9, RUE DE MÉDICIS, PARIS

1969

LA GENÈSE

DE LA

SCIENCE DES CRISTAUX

INTRODUCTION

1. — Généralités sur la Science des cristaux au milieu du XVIII^e^ siècle.
2. — Il n'y avait pas au XVIII^e^ siècle de hiérarchie scientifique, et chaque savant rattachait directement son sujet au système du monde qu'il avait adopté : exemples pris dans l'Histoire de la Cristallographie. Les différentes sciences s'éclairaient mutuellement tant bien que mal, par des analogies plus ou moins grossières.
3. — La classification des problèmes fournie dans le présent ouvrage est nécessairement arbitraire, et n'a été choisie que comme formant un cadre commode, où l'on se retrouve facilement.

1. — « Les sciences physiques ont entre elles des rapports immédiats, a dit un des fondateurs de la cristallographie, et les progrès de l'une influent sur l'avancement des autres (1). » Cette phrase, qui semblerait aujourd'hui un lieu commun philosophique, nous revient à l'esprit, et à tout moment, quand la lecture des travaux de nos devanciers nous fait saisir sur le vif par quel puissant effort d'abstraction et de généralisation ils ont créé les concepts qui sont encore à la base de la science moderne.

La cristallographie ne s'est véritablement constituée comme chapitre indépendant de la physique générale qu'à la fin du XVIII^e^ siècle. Elle est fille de toutes les sciences

1. Nicolas Le Blanc. *Cristallotechnie*.

qui se sont alors si brillamment développées ; la minéralogie surtout a contribué à la former, mais à cette époque, les spécialités n'étaient pas comme maintenant, strictement délimitées ; le savant, par exemple, dans la première partie d'un traité précisait d'abord son sujet, sans se soucier d'être d'accord avec ses collègues ou concurrents, dont les ouvrages étaient déjà publiés. « Les minéraux (1), qu'on appelle aussi *corps souterrains* ou *fossiles*, explique Wallérius, sont des substances qui croissent sans paraître avoir de vie et sans qu'on remarque qu'aucun suc visible circule ou soit contenu dans le sein de la terre ou à sa surface. » La définition que l'on vient de donner, ajoute-t-il, renferme les propriétés qui distinguent le règne minéral du règne aquatique, du règne végétal et du règne animal. L'opinion de ceux,— et ils sont nombreux — qui ne pensent pas ainsi, ne doit pas même être discutée. « Il y a (2) des naturalistes qui prétendent que les minéraux ont une vie semblable à celle dont jouissent les végétaux ; mais personne n'ayant encore pu, jusqu'à présent, remarquer même à l'aide des meilleurs microscopes que ces substances eussent un suc contenu dans leurs fibres ou veines, personne n'ayant établi ce sentiment par quelques preuves ; et d'ailleurs, étant impossible de se former une idée de la vie en général sans un suc qui circule, on ne voit pas sur quel fondement on attribuerait une vie aux minéraux, à moins qu'on ne voulût appeler vivant tout ce qui a la faculté de croître et de s'augmenter ; en admettant cette supposition, il n'est pas douteux que l'on puisse dire que les *minéraux vivent.* »

Tout est donc dédaigneusement ramené à une dispute de mots assez oiseuse, que l'on pourrait voir cesser, si l'on voulait bien s'entendre sur la signification exacte du mot « vie » : cela n'est pas l'affaire de notre naturaliste ; il passe à d'autres sujets ; il donne les raisons qui prouvent effectivement que les pierres grandissent ; il ne

1. Cité d'après l'édition française de 1753.
2. 1753.

croit pas cependant, déclare-t-il immédiatement, pour des motifs d'ailleurs d'ordre scientifique, que l'on puisse déterminer par des recherches précises l'époque exacte du déluge biblique admis par tous ; certains savants datant de la retraite des eaux l'existence du terreau, dont la couche s'accroît irrégulièrement tous les jours, une courte discussion s'imposait ; mais les cristaux sont parmi les fossiles (1) les corps qui l'intéressent le plus ; « Il n'y a pas lieu de douter, dit-il, que ce ne soit par la voie de la cristallisation que les cristaux et pierres précieuses se forment d'une matière liquide, et que ce phénomène n'arrive pas de la même façon que celui par lequel nous voyons les sels prendre une figure régulière et déterminée » : nous sommes en pleine cristallographie. Voici les réflexions d'ordre général que Wallérius fait à ce sujet. « Nous répondrons en peu de mots à la question, si les cristaux et les pierres précieuses sont redevables de leur figure à quelques sels, avec les cristaux desquels ils ont le plus de ressemblance ; il faut, avant toute chose, faire une distinction entre ce qui est la cause de la cristallisation et ce qui est la cause de la figure des cristaux ; on a toujours confondu ces deux objets, et comme le sel est, sans contredit, la cause de la cristallisation, sans entrer dans les plus grandes recherches, on a prétendu que le sel était aussi la cause de la figure des cristaux ; mais je soumets aux réflexions des naturalistes les observations suivantes relatives à la figure des sels, des cristaux et des pierres précieuses :

1. Nous devons observer en passant que l'étude des fossiles fut pendant le XVIIIe siècle l'étude de tout ce qui s'extrait de la terre. « Le règne fossile, lit-on dans l'*Encyclopédie*, synonyme de règne minéral. » Dans le *Dictionnaire de Bertrand* : « On a déjà pu savoir que nous prenons le nom de fossile dans l'acception la plus étendue pour désigner tout ce qui se tire de la terre ou ce qui se trouve dans son sein ; soit qu'il y soit propre comme les sables, les terres, les pierres, les sels, les soufres, les minéraux des métaux ; soit qu'il s'y rencontre accidentellement comme les coquilles fossiles et les pétrifications des animaux, des végétaux et des zoophytes, etc. »

« 1° Il ne paraît nullement douteux que les cristaux de roche et les cristaux des sels ne soient formés par la combinaison d'une substance terrestre et d'une substance métallique, un acide ne pouvant former des cristaux avant que d'être uni à une base soit terrestre, soit métallique. La chimie nous apprend que tous les sels et leurs cristaux sont produits par différentes combinaisons de l'acide vitriolique ou sulfureux, quoique cet acide n'ait point de figure par lui-même.

« 2° Pour prouver d'une façon plus convaincante que les cristaux de sels ou de roche dépendent d'une substance terrestre et métallique, il suffira de donner ici l'exemple de l'esprit de nitre ; si on unit cet esprit avec un alcali végétal pur, il se forme un sel d'une figure prismatique hexagone qu'on appelle nitre ou salpêtre ; si on unit le même esprit de nitre avec du sel marin ou avec un alcali minéral, il se forme un sel cubique dont la figure est semblable à celle du sel marin. Ne serait-ce pas la terre ou base alcaline qui produit les variétés que nous remarquons dans les cristaux de ces sels ? de même lorsqu'on fait dissoudre de l'argent dans de l'eau forte il se forme des cristaux quadrangulaires irréguliers, etc. Puisque dans ce cas l'eau forte demeure telle qu'elle était auparavant, n'est-ce pas la substance métallique qui produit de la variété dans les cristaux ? Ce qui prouve encore mieux que ce ne sont point les sels qui produisent la variété que nous remarquons dans les cristaux, mais qu'elle vient des métaux, c'est qu'un seul et même métal dissous dans les différents acides conserve toujours la figure qu'il a adoptée, et n'en change point pour prendre celle des sels ; c'est ainsi que le cuivre, soit qu'on le fasse dissoudre dans l'acide nitreux, dans l'acide vitriolique ou dans l'acide du vinaigre, produit toujours constamment des cristaux parallélipipèdes : de même si on fait dissoudre du plomb dans du vinaigre ou dans l'esprit de nitre, on obtiendra des cristaux polygones de la même figure. La même chose arrive à tous les autres métaux qui sont solubles dans

les différents acides et qui peuvent s'y cristalliser.

« 3° On voit dans la nature que les métaux mêmes affectent une figure déterminée, et l'on ne peut alléguer aucune raison de croire que le sel doive plus y contribuer qu'à la génération d'autres métaux qui n'affectent point de figure ; le plomb, par exemple, a pour l'ordinaire une figure cubique comme on peut le voir dans toutes les galènes ou mines de plomb ; est-ce une raison pour dire que dans toute galène, il se trouve du sel ? L'étain est ordinairement d'une figure ou polygone, ou oblongue ou quadrangulaire, ou pyramidale, comme on peut le voir dans les cristaux d'étain ; il ne suit pas de la qu'il y ait du borax ou d'autre sel dans cette mine d'étain ; le cuivre a différentes figures indéterminées ; le fer affecte une figure rhomboïdale ou cubique octogone ; la mine d'argent est souvent prismatique, hexagone ; l'or est plus porté à la végétation.

« 4° Si l'on tente l'analyse chimique de tous les cristaux de roche, on trouvera que le cristal de roche donne un sel cubique très acide mais jamais du nitre ; voici ce qu'en dit Borrichius (1) : « Je ne décide pas si ces angles (il « parle des angles du diamant) sont formés par une petite « portion de nitre, ou si c'est une propriété de l'eau de for- « mer des angles de cette espèce, lorsqu'elle est entière- « ment laissée à elle-même et sans mélange d'aucune sub- « stance étrangère ; cependant, je pencherai plutôt vers ce « dernier sentiment : savoir, que les cristaux forment leurs « angles de cette façon sans le secours d'un sel nitreux, mais « par une petite portion d'un autre sel acide et cubique » ; il se trouve aussi une pierre martiale dans toutes les pierres précieuses colorées telles que les rubis, l'hyacinthe, l'améthyste ; on remarque pareillement que les pierres précieuses colorées contiennent réellement des métaux ; — que le saphir et l'émeraude portent du cuivre, les grenats de l'étain, du fer et quelquefois de l'or.

1. Voir sur Borrichius, section 1, p. 24 ; ce savant croyait que l'eau est la matière principale de tous les corps.

« 5° Enfin, il faut observer que le sel qui a le plus de ressemblance avec les cristaux, je veux dire le nitre, n'a jamais été trouvé dans le sein de la terre ; comment pourrait-il donc arriver qu'un sel qui n'est point fossile, produisît du cristal qui est un fossile ? mais en voilà assez sur cette matière. On verra facilement par ce qui vient d'être dit qu'on pourrait accorder que les cristaux empruntent leurs figures de la pierre ou du sel, s'il ne s'agissait que des petites particules qui composent le tout en se réunissant ; c'est ainsi qu'une substance saline peut être composée de particules pyramidales qui, rassemblées, forment une figure cubique ; mais il n'arrivera jamais qu'une substance saline, qui sera par exemple composée de particules cylindriques, puisse par la réunion de ces particules composer une figure prismatique. »

II. — Cette longue citation nous fait comprendre mieux que l'analyse détaillée d'un ouvrage, quelles variétés de connaissances étaient invoquées pour l'explication d'un phénomène quelconque ; la cristallisation attirait aussi bien le physicien, le chimiste ou le naturaliste, dans des généralités qui étaient en dehors des compétences de chacun ; ou plutôt la hiérarchie des sciences qui a trouvé son expression dans la philosophie positive de Comte n'était pas encore élaborée ; chaque étude particulière permettait à chaque auteur de donner des conclusions qui dépassaient étrangement son sujet. Un fait bien connu amenait tout droit à une conception générale de l'univers. « Il n'est probablement, pense-t-on alors, aucun phénomène dans la Nature, assez isolé pour que son explication ne suppose pas celle de plusieurs autres et souvent l'établissement d'un système général du Monde (1). » Ainsi de Mairan, sentant qu'il serait peut-être impossible de comprendre la formation de la glace sans admettre l'existence d'une matière subtile dont la présence, du moins en

1. A. D. S. 1749, à propos de la dissertation sur la glace.

quantité suffisante, peut donner la fluidité aux corps les plus durs, « et dont la privation totale ou même la diminution excessive remet les plus fluides dans l'état de solidité », n'hésite pas à regarder cette supposition comme le système le mieux appuyé qu'on puisse faire.

Si quelques naturalistes, comme Robinet (1), en voulant appliquer aux « trois règnes de la nature » les lois qui ne régissent que les animaux et les végétaux, parurent ridicules aux savants, et cela au moment du plus grand succès de leurs livres, d'autres philosophes non moins hardis, modelèrent l'organisation des êtres vivants sur celle qu'ils supposaient arbitrairement aux cristaux de sel marin par exemple, et leurs prétentions théoriques parurent parfaitement légitimes.

Nous trouverons donc des matériaux servant à reconstituer cette préhistoire de la cristallographie dans les ouvrages les plus divers, parfois même à propos de médecine pratique. « Je n'ai observé, déclare Redi (2), aucune différence quant à la vertu purgative entre les sels de figure aiguë, obtuse, angulaire et cubique ; j'en ai fait très souvent l'épreuve sur différentes personnes, en faisant choisir un à un, les grains cubes des sels de concombre ou melon d'eau, de gingembre, de chou, ou de réglisse ; ils ont opéré avec la même énergie que les grains hexagones et très aigus des sels de poivre, de roses incarnates et de persil de Macédoine. »

La connaissance généralement encyclopédique des savants du XVIII^e^ siècle était distribuée par eux en chapitres, suivant une méthode arbitraire quelconque ; les dictionnaires alphabétiques, qui eurent une si grande vogue alors, non seulement comme *Memento*, mais surtout comme livres d'instruction (3), permettent au lecteur, d'aborder

1. 1761.

2. La traduction française de l'*Essai sur les sels* de Redi parut à Dijon dans le C O L. 3., 1755.

3. Voir la préface du 3^e^ volume, *Dictionnaire de physique*, P. Aimé-Henri Paulian. Avignon, 1761.

« ... Notre premier plan était de donner un cours de physique dans

les questions dans l'ordre qui lui conviendra le mieux, sans qu'un système magistral lui soit imposé d'office... Même dans les traités en forme l'on peut observer une indifférence remarquable aux classifications reconnues ; Buffon prend la plus courante par raison de simplicité et ce n'est qu'en rapprochant les textes relatifs aux mêmes questions qui sont disséminées partout dans son œuvre, que l'on retrouve la trame logique de sa pensée toujours d'accord avec elle-même ; en un mot, l'esprit philosophique constamment en éveil, ne domine pas l'ensemble de la science. Les différentes sections, qui sont examinées aujourd'hui dans des livres différents, et par des hommes différents, étaient étudiées par les mêmes savants et cela en fonction de celle qui leur paraissait la plus importante; elles n'étaient pas isolées et s'éclairaient les unes les autres suivant des analogies plus ou moins grossières ; de là un aspect qui, de loin, semble une mosaïque informe ; il est impossible de faire un exposé systématique de la genèse de la cristallographie, née dans un moment où l'humanité rejetait ses dogmes anciens, pour se créer une science en rapport avec les connaissances nouvelles qui avaient brisé les cadres trop étroits d'autrefois.

III. — Ceci dit, il convient toutefois de séparer les problèmes analogues qui se sont posés simultanément quoi-

toutes ses formes. Le goût du public pour les dictionnaires et le désir que nous avons eu de nous rendre utiles à ceux qui ne voudraient apprendre que des questions détachées, nous a fait préférer l'ordre alphabétique à tout autre arrangement.

Avertissement du dictionnaire raisonné universel, par Valmond de Bomase. Paris, 1764.

« ... Vouloir dans une description rapide de tous les objets connus suivre les détours de ce vaste labyrinthe sans quitter le fil de la méthode, ce serait s'exposer à s'égarer avec ceux auxquels on se propose de servir de guide.

« C'est pourquoi je me suis déterminé à imiter pour ainsi dire, la marche de la Nature, trop féconde pour compléter ou arranger ses productions. L'ordre alphabétique d'un dictionnaire raisonné, peut donc à cet égard, être regardé, comme le plus convenable, comme le seul admissible, pour passer en revue tous les articles intéressants de l'histoire naturelle. »

que les solutions fournies n'aient entre elles aucun lien ; chacun de nos chapitres empiètera sur les autres, et nous serons forcés, pour faire comprendre l'évolution de la cristallographie, de traiter certaines questions qui n'ont qu'un rapport lointain avec la cristallographie d'aujourd'hui ; nous imposerons artificiellement à notre sujet un cadre sans lequel on risquerait de ne pouvoir apprécier la valeur du mouvement scientifique d'alors. Faut-il regretter d'être obligé de répéter à ce propos les paroles de Diderot, au sujet d'un plan de Musée ? « L'ordre d'un cabinet d'histoire naturelle ne peut être celui de la nature ; la nature affecte partout un désordre sublime. De quelque côté que nous l'envisagions, ce sont des masses qui nous transportent d'admiration, des groupes qui se font valoir de la manière la plus surprenante ; mais un cabinet d'histoire naturelle est fait pour instruire... »

SECTION I

La cristallographie se dégage peu à peu de la minéralogie.

1. — Généralités.
2. — L'œuvre de Sténon. — Sa méthode déductive et universelle. — La théorie explique à la fois la formation et la forme des cristaux. — Son peu d'influence.
3. — Autres théories de la fin du XVII[e] siècle. — Elles sont toutes aussi raides mais très variables. — Borrichius. — Tilingis. — Muralt. — Charles Ohmb. — Robert Boyle. — Venette. — Scheuchzer.
4. — Théories générales de la formation des pierres et des cristaux au début du XVIII[e] siècle. — Geoffroy et son « suc cristallin ». — Réaumur et ses observations sur la formation des cailloux. — Vérification expérimentale de cette théorie par Bazin.
5. — Études spéciales. — Découverte de la double réfraction du spath d'Islande par Bartholin. — Découverte de la double réfraction de la « pierre à plâtre » par de la Hire. — Sa théorie de la cristallisation du gypse. — Celle de de Jussieu.
6. — Cappeller le premier étudie les cristaux en général au seul point de vue descriptif. — Son œuvre.
7. — L'œuvre de Bourguet. — Sa curiosité universelle. — Son explication de la forme des cristaux. — Il parle d'abord du cristal de roche et généralise sa théorie à toutes les cristallisations. — Introduction de molécules infiniment petites agissant en masses énormes. — Théorie lamellaire des cristaux.
8. — Barrère n'a pas de prétentions philosophiques ; il se contente d'observer et de raisonner ses observations. — Des descriptions précises et observations régulières.
9. — Un mot sur l'œuvre du célèbre Henckel. — Il est mineur avant d'être minéralogiste ou cristallographe. — Explication esthétique de la formation des pyrites, physique des autres cristaux.
10. — Diffusion de la minéralogie vers le milieu du XVIII[e] siècle. — Grand nombre de travaux partiels. — Le besoin d'un ouvrage d'ensemble se fait sentir. — La minéralogie de Wallérius — Curiosité universelle et philosophique. — Elle n'est dominée par aucun principe. — Examen des questions posées et non résolues. — Classification des minéraux. — Descriptions claires. — Autres ouvrages. — Dictionnaires d'histoire naturelle. — Travaux chimiques.
11. — Les classifications des minéraux. — Linné et la forme cristalline. — Cartheuser n'examine que le tissu. — Justi reste dans le vague. — Lehman ne s'intéresse qu'à l'analyse des corps et proscrit toute

recherche morphologique. — Cronstedt n'a qu'une méthode empirique. — Hill examine tous les caractères des cristaux et les réunit en tableau.

12. — Romé de l'Isle introduit la méthode positive en cristallographie. — Il débarrasse la science de l'arbitraire et de la théorie. — Loi d'égalité des angles dièdres. — Il veut lui donner une réciproque qui est démentie par les faits et qui nuit au succès de sa méthode. — La réaction. — Dédain de Monnet pour la cristallographie géométrique. — Opposition de Buffon et théorie qu'il oppose à Romé de l'Isle.

13. — Études spéciales. — De Lassone et les grès de Fontainebleau. — Il essaye de voir le rapport entre la forme et la composition de ces cristaux. — Liste d'autres travaux.

14. — Werner et son œuvre. — Il classe les cristaux d'après leurs caractères extérieurs. — Il s'intéresse aux formes, ne les étudie pourtant pas avec précision et examine avec soin toutes les qualités sensibles des minéraux. — C'est un mineur qui ne pense qu'à la pratique de son art. — Les minéralogistes sont désormais soit chimistes, soit descripteurs. — Ces derniers seuls nous intéressent.

15. — Hauy inaugure la méthode descriptive et constructive moderne. — Les rapports de son œuvre et de la minéralogie. — La théorie devient géométrique et se libère de l'histoire naturelle de la physique. — Les derniers travaux de Romé de l'Isle. — Trois caractères suffisent à définir les cristaux : saveur, dureté, densité.

16. — La minéralogie et la cristallisation universelle de Lamétherie. — Son peu de succès. — Lamétherie fait une grande place dans le journal de physique aux cristallisations minérales. — Tentatives non réussies pour vulgariser la minéralogie cristallographique. — Élimination de ces théories trop vastes. — La minéralogie entre dans sa période moderne.

1. Pour connaître véritablement comment une science aussi précisément délimitée que la cristallographie, s'est formée par les acquisitions successives de l'esprit humain dans tous les domaines, il ne faut pas se contenter de l'examiner le jour de son élaboration définitive ; sur un terrain, jusqu'alors inaperçu, la rencontre inattendue de notions, en apparence disparates, fera surgir un monument que tous apercevront, mais qu'aucun n'aura prévu. Ces constructions qui semblent émerger tout d'un coup, là où l'on ne voyait rien, étaient en réalité sur le chantier depuis que le labeur de certains travailleurs modestes et sans guide apparent, apporta les matériaux qui serviront plus tard à achever l'édifice.

Nous serons donc amenés à rechercher l'origine de la

science des cristaux, dans le grand courant de curiosité scientifique qui prit naissance vers le milieu du XVII[e] siècle et dont Descartes avait donné la méthode et la formule. Cette philosophie (1) qui récusait la tradition pour n'admettre que les déductions tirées de quelques évidences que tous peuvent saisir, encourageait les savants à travailler par eux-mêmes indépendamment les uns des autres et isolait leurs œuvres des autres productions humaines. Les traités à la fois définitifs et complets de cette époque resteront souvent sans influence ; leur perfection logique même sera une faiblesse ; les fortes conceptions de quelques cerveaux puissants ne semblent adaptées ni aux sujets traités qu'elles dépassent étrangement, ni à l'esprit humain qui peut les adopter ou les rejeter, mais non les utiliser en les modifiant. La dissertation (2) de Sténon sur « les corps solides contenus naturellement dans d'autres corps solides » fournit un exemple remarquable de ces théories générales qui expliquent tout de si loin qu'aucun perfectionnement ne peut leur être apporté par l'observation, l'expérience et le raisonnement.

2. Le mot cristal était couramment employé avant qu'aucun auteur ne s'avisât d'en faire un terme désignant toute une classe de corps ; il s'appliquait uniquement au *cristal de roche*, qui a fait l'admiration, nous dit Bourguet, des physiciens anciens et modernes ; ces physiciens conjecturèrent plus qu'ils n'observèrent et n'essayèrent pas de distinguer leur imagination de la réalité. Ils recherchaient simultanément les lois de formation du quartz, la raison de sa transparence et la cause de sa remarquable et constante forme hexagonale ; cette dernière propriété exerçait surtout leur sagacité. Sténon nous apprend que l'on en

1. Le mot « Philosophie » est pris dans tous le cours de cet ouvrage comme synonyme de : méthode de diriger les recherches scientifiques, ou encore, méthode d'exposer les résultats des recherches théoriques ou expérimentales.

2. Florence, 1669.

donnait avant lui quatre interprétations différentes ; cette forme est due, pensait-on, soit à une irradiation imaginaire, soit à une similitude des parties composantes, soit à une tendance égale des parties vers un centre commun, soit encore, suivant certains fantaisistes, à la prétendue perfection de la figure hexagonale.

Ces solutions disparates ne pouvaient plaire à Sténon qui recherchait dans chaque corps une solution particulière au problème général suivant : « *Un corps figuré d'une certaine manière et formé par la Nature étant donné, trouver dans ce corps même les indices sûrs du lieu de sa formation et de la manière dont il s'est formé.* » L'étude d'un produit quelconque tel que le cristal de roche, les pierres angulaires et encore les productions marines trouvées loin de la mer, devait lui fournir des renseignements historiques sur les péripéties de la croûte terrestre qui leur a donné naissance.

Tous ces corps ont des propriétés communes ; ce sont des solides produits suivant les lois de la Nature et résultant en conséquence de la condensation d'un fluide ; cette affirmation posée, il en résulte immédiatement que ces solides grandissent dans le milieu où ils se forment. Mais comment se fait leur accroissement ? par l'addition évidemment de nouvelles particules tirées d'un fluide externe et appliquées aux particules propres de ces corps. Cette addition se fait ou par l'action immédiate du fluide externe ou par celle d'un ou de plusieurs fluides internes ; chez les animaux, dit l'auteur sans insister, l'accroissement se fait de la seconde manière par nutrition, mais il en est tout autrement des cristaux dont nous devons étudier les gisements avant de formuler les lois de formation.

La simple observation nous permet de dire *a priori* que « les cristaux, les spaths, les marcassites, etc., et autres corps lisses qui se trouvent enfermés dans les pierres et les cailloux, étaient déjà solides lorsque la matière des corps qui les contiennent n'était encore que fluide ; ainsi ces pierres et ces cailloux n'ont point pro-

duit les corps dans leur intérieur, mais elles n'existaient pas même dans le lieu où ces corps contenants furent produits ; si, au contraire, un cristal est renfermé partiellement dans un autre cristal, nous pourrons affirmer que le corps contenant était déjà solide, lorsque le corps contenu était fluide ; cependant les coquilles pétrifiées et les incrustations d'origine plus récentes étaient encore dans un état de fluidité, lorsque les corps contenants étaient déjà formés. »

Pour que la solidification s'opère, il faut qu'un fluide se soit chargé de particules qu'il dépose ensuite sur les corps solides auxquels elles se joignent; ces particules peuvent s'appliquer sur toutes les surfaces imaginables, et le mouvement du fluide ne leur apporte généralement aucun obstacle; sans rechercher les lois de leur agrégation première, Sténon voudra déterminer les lois suivant lesquelles ces molécules se déposent; il prend d'abord le cristal de roche comme exemple.

Il supposera pour simplifier le problème, un petit cristal de forme habituelle limité par un prisme hexagone terminé aux deux bouts par deux pyramides hexagones; les plans de cette pyramide sont appelés « plans extrêmes »; les angles solides auxquels se réunissent les six faces de chaque pyramide sont les « angles extrêmes »; les plans du prisme sont appelés « plans intermédiaires »; la droite qui joint les angles extrêmes est l'axe du cristal.

Ce petit cristal grandit ; l'accroissement, dit Sténon, se fait par juxtaposition, c'est-à-dire par l'application successive et régulière d'une matière nouvelle aux plans extérieurs déjà formés, — mais tous les plans limitrophes ne jouent pas le même rôle; cette nouvelle matière ne s'applique pas « indifféremment à toutes les faces du cristal, mais seulement aux plans extrêmes. De là, il arrive :

« 1° que les plans intermédiaires ne sont autre chose que la base des plans extrêmes, et de plus, que ces plans intermédiaires sont tantôt plus grands, tantôt plus petits et quelquefois manquent totalement dans certains cristaux.

« 2° que ces plans intermédiaires sont sillonnés d'une légère cannelure, et que les plans extrêmes portent des marques d'une matière qui leur a été appliquée ».

Sténon, qui a observé dans tous les échantillons de cristal les cannelures dont il parle, en a induit la théorie qu'il expose ensuite déductivement ; le procédé est encore plus sensible dans le passage qui suit, où les irrégularités des cristaux sont expliquées avec l'apparence d'une divination imposante :

« La matière cristalline ne s'applique pas toujours ni dans le même temps, ni dans les mêmes quantités aux plans extrêmes. De là il arrive :

« 1° que l'axe des deux pyramides opposées ne fait pas toujours une ligne droite avec l'axe de la colonne hexagone qui sépare ces pyramides.

« 2° que les plans extrêmes sont rarement égaux d'où s'ensuit l'inégalité des plans intermédiaires.

« 3° que souvent les angles solides extrêmes, ainsi que les angles solides intermédiaires se divisent chacun en plusieurs angles solides. »

Les cristaux non seulement peuvent être irréguliers, mais quelques-uns d'entre eux paraissent pour ainsi dire déformés ; ces altérations apparentes datent de l'époque de leur formation et ne sont dues qu'aux circonstances accidentelles de la cristallisation. En effet « la couche de matière cristalline ne couvre pas toujours le plan dans son entier ; quelquefois, elle manque ou vers les angles, ou vers les côtés du plan. De là, il arrive :

« 1° que ce qu'on appelle communément le même plan s'étend et a en effet ses parties dans les différents plans.

« 2° que quelques-unes de ces parties sont concaves ou convexes, au lieu d'être planes.

« 3° que les plans intermédiaires présentent des inégalités semblables aux marches d'un escalier. »

Il ne suffit pas à la matière cristalline de se poser sur les faces du cristal qu'elle accroît ; il faut encore qu'elle passe de l'état liquide à l'état solide pour en faire partie

intégrante ; « dès qu'elle est appliquée aux différents plans, elle s'étend et se durcit insensiblement par la pression du fluide extérieur sur ces mêmes plans ». De là il arrive que le cristal a d'autant plus de poli que la matière nouvelle appliquée à ces différentes faces a mis plus de temps à se durcir et qu'on peut reconnaître la manière dont la matière cristalline s'est appliquée au cristal ; sa coagulation rapide ou lente, que la défectuosité, la rugosité, ou la netteté de la surface révèlent à l'observateur attentif.

Malgré les caractères spécifiques communs à tous les cristaux, on pourra trouver entre eux des différences individuelles dont on expliquera l'origine en se souvenant que les corps solides ont un rapport constant avec les autres corps solides au sein desquels ils se sont formés. « Le fluide extérieur tire la substance cristalline de la matière des lits pierreux, en sorte que les rochers de différentes natures ayant des émanations différentes doivent produire des cristaux de différentes couleurs ; le mouvement d'ailleurs par lequel la nouvelle matière cristalline est dirigée vers les faces du cristal déjà formé n'est pas produit par une cause générale qui réside dans le fluide environnant ; mais il est différent dans chaque cristal, d'où l'on peut conclure que ce mouvement dépend d'un fluide subtil qui émane du cristal déjà formé ; de là on conçoit : 1° comment dans un même lieu la matière cristalline s'applique aux faces du cristal diversement situées respectivement à l'horizon ; 2° comment différents cristaux prennent différentes figures dans le même fluide. »

Cette explication n'est pas fantaisiste ; nous pourrions citer outre les cristaux, dit Sténon d'autres corps qui orientent par leurs seules actions les milieux environnants. C'est peut être le cas de certaines coagulations chimiques ; c'est certainement par une force qui réside en lui que l'aimant attire le fer. Les remarques précédentes font penser que l'on pourra par l'analogie et le raisonnement déterminer les lois exactes de la formation du cristal, et étendre les résultats à toutes les pierres régulières telles que

les diamants ou les pyrites que nous trouvons dans la terre. Pour en revenir à la cristallisation, il y a deux mouvements principaux qui influent sur l'accroissement immédiat du cristal ; le premier qui détermine la matière cristalline à s'appliquer à tel point donné de l'aiguille du cristal et qui est dû à l'action du fluide penétrant ; le second qui aplanit la matière cristalline nouvellement formée aux différentes faces du cristal dû à la pression du fluide ambiant ; suivant l'hypothèse de l'auteur « cette action du fluide ambiant pourrait être regardée comme la cause du parallélisme constamment observé entre les faces opposées du cristal et de tous les autres corps qui ont une forme régulièrement angulaire » ; mais il faudrait les étudier longuement pour préciser davantage le rôle « du dedans » et « du dehors » à la couche de contact entre le cristal et le milieu cristallogène... « si l'on observait avec soin les phénomènes de composition et décomposition des corps angulaires, on connaîtrait bientôt toutes les variétés de mouvement qui entraînent les particules soit du fluide pénétrant, soit du fluide ambiant ; et cette partie de la physique quoique peu cultivée est cependant nécessaire pour la parfaite intelligence des opérations de la nature ».

Sténon ne se contente pas d'indiquer un programme aux curieux futurs ; il décrit immédiatement certaines espèces minérales dont la cristallisation est évidente ; il n'examine d'ailleurs que leurs caractères physiques sans se douter de l'existence des propriétés chimiques. Le diamant par exemple est transparent comme le quartz ; « Il suffit d'observer sa configuration pour conclure qu'il se forme dans le même lieu et de la même manière que le cristal :

« 1° le vrai lieu de la formation du diamant c'est un fluide contenu dans les cavités des rochers ;

« 2° il est produit par la juxtaposition des particules de matières ;

« 3° dans sa formation, il éprouve comme le cristal

l'action du fluide pénétrant et celle du fluide ambiant. »

Les cristaux cubiques de pyrites sont autrement suggestifs ; ils diffèrent de ceux de quartz :

« 1° quant au temps de leur formation : tout indique qu'ils sont plus anciens que les terrains qui les renferment ;

« 2° quant au lieu de leur formation : le cristal de roche avait un point d'appui solide ; celui de pyrites est formé entre deux fluides ;

« 3° quant à la manière dont ils sont formés : tous les cubes ont leurs faces uniformément cannelées, en sorte que les cannelures des faces opposées sont parallèles et celles des faces voisines dirigées en sens contraire ; ce qui montre qu'il y a trois mouvements dans le fluide ambiant.

« 4° Quant à la perfection de la figure : dans le cristal de roche les angles sont obliques, l'accroissement excessif d'une face change la place des autres et donne à l'ensemble un aspect irrégulier ; il n'en est pas de même pour la pyrite où tous les angles étant droits, chaque partie conserve nécessairement ses justes dimensions. »

Cette théorie si bien construite n'eut pas d'influence sur les conceptions immédiatement ultérieures ; malgré la notoriété de l'auteur, cité toujours avec respect, l'on sent que le système, s'il n'est pas entièrement adopté, doit être rejeté en bloc. Surtout frappé par les rapports d'équilibre entre deux milieux voisins dont l'un grandit aux dépens de l'autre, Sténon ne tient compte que de leurs réactions réciproques et immédiates ; sa théorie a un tel caractère d'évidence, qu'il est difficile d'apercevoir immédiatement toute sa puissance, et quel progrès l'application judicieuse du principe de causalité a un problème dont la solution semblait ne relever que du hasard a pu réaliser dans la science des cristaux.

Les arguments invoqués relèvent tous d'une explication hypothétique de ce phénomène physique qu'est la cristallisation, et la cristallogénie de Sténon explique à ce point

l'observation que l'on pourrait considérer cette dernière comme une illustration de la théorie. Nous touchons là à un avantage, et à un danger de cette science construite sur les principes cartésiens ; elle est si parfaite, si bien ordonnée que l'on ne peut rien y ajouter, comme rien y retrancher et que la moindre altération la détruirait ; les questions sont traitées entièrement et d'une manière si générale, que les problèmes qu'il resterait à résoudre ne peuvent l'être qu'à l'aide d'une nouvelle application des théories déjà exposées. Cette science qui se crée en dehors des autorités reconnues, est la plus autoritaire des disciplines ; les auteurs qui ont suivi n'ont pas utilisé pour la plupart une méthode aussi rigoureuse. L'œuvre de Sténon représente donc plutôt une tentative isolée qui pourra être admirée ou oubliée par la plus lointaine postérité, que le résultat du travail collectif des hommes ; c'est une construction indépendante et puissante qui n'a pas ses fondations dans la tradition scientifique et qui n'a pas d'influence sur elle.

3. Pour nous rendre compte des idées courantes des savants de la fin du XVII[e] siècle, nous ne devons pas nous attarder à contempler avec admiration les conceptions géniales d'un grand savant isolé ; il nous faut au contraire chercher à dégager du chaos que représente à première vue la minéralogie de cette époque un ensemble de tendances directrices qui ont guidé les esprits sans qu'ils s'en doutent. Remarquez d'abord que comme Sténon les auteurs sont peu disposés à faire valoir les théories qu'ils adoptent par leur conformité avec les opinions traditionnelles admises ou discutées depuis la plus lointaine antiquité ; les anciens avaient prétendu que la plupart des corps pouvaient se décomposer en un petit nombre de principes simples tels que le feu, l'eau, la terre et l'air ; beaucoup de modernes sans se réclamer d'autrefois partent de la théorie des quatres éléments, qu'ils modifient suivant leurs convenances particulières ; quelques uns ajouteront bien-

tôt des « êtres de raison » comme l'acide universel et le phlogistique ; d'autres ne trouveront plus que l'eau, le feu ou des principes lapidifiques variés à la base des productions minérales. Ces discussions persisteront pendant tout le XVIII[e] siècle et masqueront les progrès réels de la chimie jusqu'au moment du triomphe éclatant des théories pneumatistes émises par une école dont Lavoisier est le chef incontesté.

Pour le moment, nous assistons à une éclosion de systèmes de formes analogues bien que de fonds différents, tendant à résoudre le problème de la formation des pierres, des cristaux et des diamants que l'on trouve dans la nature. Borrichius qui a surtout observé l'accroissement des stalactites dans les grottes humides, donne la solution suivante (1) : « je pense que l'eau commune, celle dont nous faisons usage, est la seule matière des pierres ; si parmi ces eaux se trouvent mêmes quelques sucs terreux ou quelques minéraux, c'est ce qui produit les marbres colorés et les pierres précieuses de différentes espèces. Quant à la cause efficiente de la formation des pierres, elle n'est autre selon moi que le repos constant des parties de l'eau rassemblées dans les lieux où elles ne sont point exposées aux agitations de l'air externe. Elles se touchent alors par des faces semblables et se lient aisément les unes aux autres à cause de leur homogénéité (2). Cette théorie stupéfiante et paradoxale n'a besoin pour être prouvée, dit son auteur, d'autres témoignages que ceux fournis par nos sens. Il cite à l'appui les observations qu'il a faites — et que chacun peut faire — dans les cavernes d'Europe qu'il a visitées au cours de voyages scientifiques et conclut : « l'on voit tous les jours l'eau commune sans aucune saveur se convertir en pierres de formes et de grandeurs différentes ; » cette eau peut contenir, accidentellement il est vrai, des sels, des particules de vitriol, ou d'autres

1. Actes de Copenhague, 1675.

2. Il est curieux de noter que dès le milieu du XVII[e] siècle, Browne considère la transformation de l'eau en cristal, comme une erreur populaire.

mélanges analogues ; mais on n'en doit pas conclure que ces corps contribuent à la formation des pierres : « un philosophe, au contraire, doit rejeter ces principes étrangers dès lors qu'il est sensible que sans leur concours l'eau la plus commune dans un état de repos, quoique à la vérité, cette eau ne soit pas entièrement dénuée de tout sel, se change en pierre d'elle-même ».

Borrichius est tellement sûr de ce qu'il avance, que toute autre conclusion, dit-il, choquerait jusqu'à la « vraisemblance ». Dès lors, ayant prévenu toutes les objections, il lui faut expliquer comment l'eau se convertit en pierres. « Cette eau ayant pénétré dans la terre, tend toujours à descendre soit par son propre poids, soit à cause de la pression de l'air. Si elle ne rencontre qu'un passage étroit, elle filtre goutte à goutte ; les molécules dont ses gouttes sont composées se rapprochent, et étant d'ailleurs toutes égales et d'une surface polie, se lient aisément les unes aux autres ; de cette sorte, si les gouttes d'eau ne sont pas poussées trop promptement par celles qui se succèdent, ou si la chaleur de l'eau ne forme pas obstacle à leur coagulation, elles passent aisément de l'état de fluide à celui de solidité. »

Mais, observerons-nous, la glace est aussi une eau congelée et nous la voyons souvent se résoudre en eau ; y aurait-il donc une colle qui unit les différentes parties de l'eau pour qu'elles restent dures ? Nous pourrons nous dispenser de cette hypothèse si nous nous souvenons, comme Borrichius, que les surfaces polies de même nature s'unissent très facilement ; et alors nous comprendrons que plus l'eau sera chargée de matières hétérogènes, moins la pierre qui résultera de sa condensation sera compacte. La grande transparence et la blancheur du diamant ainsi que sa dureté montrent qu'il n'est formé que d'eau sans aucun autre mélange. « C'est pour cette raison que sa substance est plus ferme et plus solide que celle des autres pierres précieuses de différentes couleurs ; dans celles-ci les parties hétérogènes qui forment les couleurs

empêchent que leurs molécules ne soient intimement unies ; le diamant, au contraire, étant parfaitement pur, n'a rien qui ne nuise à l'exacte liaison de toutes les parties.

« Il est indifférent, une fois que l'on a compris cela, de rechercher la figure exacte des particules de l'eau ; elles sont soit crochues, soit autrement conformées. C'est une chose évidente (et cela suffit à justifier l'hypothèse) que les surfaces de ces molécules se lient aisément, et que par là elles se trouvent nécessairement disposées à prendre une forme plane. » Tout ceci est très clair, direz-vous, mais la preuve expérimentale manque ; vous voudriez savoir quand et où, il est possible d'observer la transformation de l'eau en cristal ? Borrichius a prévu votre question ; il n'a jamais institué d'expériences précises à ce sujet ; mais « il est fort tenté de croire qu'un industrieux imitateur de la nature pourrait réussir à changer l'eau en pierre dans la grotte qu'il aurait lui-même pratiquée à cet effet ».

Voici encore une objection. Comment se fait-il que dans tant de grottes et cavernes naturelles l'eau distille sans se pétrifier ? Ce ne peut être, répond Borrichius, que parce que la lapidification peut éprouver différents obstacles. L'eau coule peut-être trop vite, les ouvertures par lesquelles elle suinte sont peut-être trop grandes, ou encore, un violent courant d'air ne s'opposerait-il pas à la formation des pierres ?...

Cette théorie que l'on ne peut réfuter victorieusement est-elle valable pour toutes les productions minérales ? Les cailloux et terrains qui forment les montagnes proviennent-ils de la coagulation d'une grande masse d'eau primitive ? ou existent-ils tels quels depuis la création du monde ? A vrai dire, nous n'en savons rien : aucune de ces hypothèses n'étant invraisemblable.

Contentons-nous d'avoir établi l'origine aquatique des stalactites et des cristaux trouvés dans le fond des rivières et de formation récente ; ajoutons encore que les pierres et calculs qui s'engendrent dans le corps humain

naissent d'une manière analogue, par la filtration de sucs organiques, dans des conditions spéciales mal connues...

Les déductions précédentes sont donc valables pour les cas particuliers les plus divers et laissent entrevoir à la pensée d'immenses horizons ; aucun savant toutefois ne les prendra comme base de ses travaux ; après comme avant Borrichius tous rechercheront aussi comment se sont formés et à quoi sont dus les corps cristallisés ; et tous prétendront seulement donner des solutions vraisemblables à un problème éternellement discutable.

Quelques savants s'exprimèrent d'une manière si abstraite et si indépendante des cas particuliers observables, que leurs théories semblent n'être destinées qu'à satisfaire les besoins intellectuels et verbaux d'un esprit avide de tout comprendre ; voici par exemple l'explication fournie par Mathias Tillingis sur la naissance des minéraux (1) : « Toutes les fois, dit-il, que *l'esprit minéral lapidifique* se trouve uni à une eau minérale très pure qui ne contient aucune terrestreité, il se forme des pierres dont les qualités diverses sont relatives à la nature de l'*esprit formateur* ; car c'est de cet esprit que dérivent la couleur et la forme : l'eau minérale contient certaines parties fixes et onctueuses dans un état de dissolution ; de l'union de ses deux principes, il résulte une concrétion pierreuse qui acquiert avec le temps la solidité et la dureté. » Le diamant lui-même, le plus dur de tous les corps, a la même origine que les métaux, les cailloux et les cristaux.

Muralt tire l'explication satisfaisante d'un fait, d'observations directes et superficielles (2) ; aux pieds de quelques glaciers formant les flancs de certaines montagnes du Wallais, se trouve une roche cristalline dure et transparente ; la glace durcissant peu à peu, se change donc en pierre, dit notre auteur.

1. *Curieux de la Nature*, 1665.
2. T. P., 1669.

Le Père Lana a essayé de connaître les conditions dans lesquelles les cristaux se forment (1) ; il ne croit pas que la rosée puisse d'elle-même se transformer en cristal ; il penserait plutôt que la vapeur d'eau rencontre dans l'atmosphère des exhalaisons nitreuses ; et que ces gaz se mélangeant et se coagulant d'une manière spéciale donnent des cristaux sexangulaires.

Charles Ohmb, à propos d'un stalactite ferrugineux trouvé près d'une mine de fer, laisse entrevoir sa théorie de la formation de ces corps (2). « Il a oui-dire à un de ses amis qui demeure près de la mine, que l'on voit de l'eau se filtrer à travers les parois des cavernes de cette mine, et que c'est cette eau qui se congèle en cette sorte de pierre » ; sans discuter la valeur générale de cette opinion, il s'en sert pour expliquer les propriétés particulières de ces cristaux. « A l'égard de la transparence de ces stalactites par exemple, je crois qu'elle provient de ce que les eaux dont elles sont formées, circulant plus longtemps sous terre, ou filtrant à travers des veines analogues à celles que prépare la matière des pierres précieuses, acquièrent un degré de pureté et d'homogénéité que n'ont pas les stalactites opaques. »

Robert Boyle (3) pense que « tous les gemmes ont été ou fluides s'ils sont entièrement transparents, ou partiellement formés de matière fluides à l'époque de leur formation s'ils sont opaques » ; pour le démontrer, l'auteur considère leur diaphanéité, leur forme extérieure, leur structure et leur couleur due à des exhalaisons qui ne peuvent se mélanger qu'avec des fluides purs, ou déjà mélangés eux-mêmes à des particules hétérogènes ; il croit inutile d'invoquer « un principe géométrisant » pour expliquer la constance et la régularité de certaines pierres précieuses et spécialement du cristal de roche.

Venette qui croit que les pierres s'engendrent comme

1. T. P., 1674.
2. T. P., 1675.
3. *An essay about the oviginesand vertues of gems* 1672.

les animaux par voie de génération (1), admet cependant qu'elles grandissent par l'addition d'un « esprit pétrifique » ou d'un suc lapidifique qui était autrefois dissout dans l'eau ; la cristallisation des sels lui semble une imitation des cristallisations naturelles, comme les « marcassites carrées » et le cristal de roche. Quel est donc, se demande-t-il, la cause efficiente des pierres ? Les anciens ont à sa connaissance répondu à cette question des manières les plus diverses ; ils ont cru par exemple que les pierres avaient une âme ; et qu'elles étaient une manifestation de cette « âme », ou ils ont attribué leur origine à l'action « d'un feu souterrain et central ; ou à celle d'un « froid extrême » ; ou encore à la « sécheresse » ; d'autres ont pensé que les pierres sont dues « à une faculté spécifique ; ou qu'elles proviennent d'exhalaisons et de vapeurs ». Venette admettrait plutôt un « esprit pétrifique » ; mais il présente son opinion comme une hypothèse et non à titre de vérité établie.

Jean-Jacob Scheuchzer expose à l'Académie des Sciences de Paris les résultats obtenus lors de son voyage scientifique (2) ; il entre ensuite dans la physique de la formation du « cristal de roche et entreprend même de prouver géométriquement la nécessité de la figure hexagone qui lui est ordinaire ; il croit, suivant le système commun, que le cristal ainsi que les pierres précieuses a été liquide, et s'est formé dans des pierres qui l'étaient aussi ; il paraît persuadé par expérience qu'il ne se produit plus de nouveaux cristaux » ; il lui semble que l'on peut fixer au déluge la date de la formation du cristal de roche.

4. Geoffroy reprend la question dans son ensemble et essaye de déterminer « l'origine des pierres (3) » ; pour être sûr, dit-il, qu'« elles ont toutes été fluides, il suffirait d'en voir une seule où fût enfermé quelque corps étranger

1. *Traité des pierres*, 1702.
2. A. D. S., 1706.
3. A D. S., 1717.

qui n'aurait pu y entrer », et autour duquel la matière est coagulée. Or ce cas est si fréquent qu'il est inutile de citer des exemples ; la proposition est donc expérimentalement démontrée.

Que peut-il entrer dans la composition des pierres ? des sels et des soufres accidentellement. Mais essentiellement de la terre ; quelques-unes d'entre elles ne sont formées que de terre pure.

« La pierre la plus simple de toutes, la plus homogène et par là, la plus parfaite, c'est le cristal de roche. A première vue, on ne croirait pas que ce soit de la terre ; cela doit être pourtant, car il est bien sûr que ce n'est pas de l'eau congelée comme les anciens l'ont cru ; mais cette terre elle-même comprend deux sortes de parties primitives : les unes minces, déliées, égales entre elles, se réunissent seules pour former le cristal ; l'eau peut leur servir de véhicule et c'est leur dissolution que l'on appelle « suc pierreux » ou plus précisément « suc cristallin ». Les autres particules sont plus communes ; leurs lames ont toutes sortes de figures irrégulières ; leurs assemblages sont moins durs et opaques. »

Les pierres (à l'exception des cristaux de roche) sont toutes formées d'un mélange de ces deux sortes de particules, et l'on voit tous les degrés de ces différents mélanges, depuis les albâtres, où des veines de cristal presque pur se rencontrent, jusqu'aux craies qui ne sont pour ainsi dire constituées que par de la grossière terre friable.

Le « suc cristallin » est inégalement répandu à la surface de la terre, puisque le cristal de roche qu'il forme ne se rencontre que dans des gîtes strictement délimités ; la formation de ce dernier est analogue à la formation des cristaux salins obtenus dans le laboratoire du chimiste ; comme eux, il se dépose lentement par suite de l'évaporation de l'eau qui le contenait en dissolution.

Le suc cristallin, à cause de son homogénéité qui le fait propre à devenir un milieu continu, peut devenir liquide sous l'action de la chaleur ; il est donc le principe de la

« fusion des pierres » : on ne pourra fondre, dit Geoffroy, ni une pierre qui aura trop peu de suc cristallin, ni une autre en qui ce suc, quoique assez abondant, sera si étroitement lié avec les parties terrestres, qu'il les entraînera toujours avec lui.

Réaumur (1), à son tour, n'est pleinement satisfait d'aucun des travaux de ces prédécesseurs ; c'est un observateur patient qui répugne aux spéculations philosophiques l'éloignant par trop du sujet assigné ; il faudrait préciser celui-ci, le délimiter, chercher à résoudre un cas particulier avant de répondre à cette question orgueilleuse dans sa généralité : « Quelle est l'origine des pierres ? » Ont-elles toutes des propriétés communes ? On l'a cru jusqu'à présent sans preuves puisqu'il n'existe pas encore de classification de minéraux, et pourtant rien ne serait aussi commode qu'une telle classification ; Réaumur, sans prétendre classer, espère que ces recherches faciliteront le classement. Nous voyons poindre, dans ce désir, le souci qu'auront plus tard les minéralogistes comme tous les naturalistes ; mais n'exagérons pas cet état d'esprit ; Réaumur ne se contenterait pas de fournir un catalogue méthodique des minéraux ; la description n'est encore chez lui que la préface de l'explication ; en exposant la nature des cailloux, il essayera avant tout de jeter une vive lumière sur l'ensemble du règne minéral.

Il commence par affirmer avec Geoffroy que le « cristal n'est assurément que de l'eau congelée » ; mais il ne recherche pas quels éléments entrent dans la composition de ce corps ; s'il consent à appeler « suc pierreux » ou « suc cristallin » l'eau chargée de particules qui contribuent à l'accroissement des pierres, il ne veut rien préjuger de la nature de ce suc ; ce serait prématuré ; il faut regarder avant de conclure.

« Les cailloux, a-t-il vu, ont généralement une figure ronde ou arrondie, et leurs angles, quand ils en ont, sont

1. A. D. S., 1717-1721.

. . . . . .

abattus et émoussés ; si l'on pouvait supposer qu'ils ont tous roulé dans les rivières ou dans la mer, cette figure n'embarrasserait pas ; mais la supposition serait trop violente ; on trouve des cailloux ronds dans des lits de pierres d'une grande profondeur ; il paraît qu'ils affectent la figure ronde comme des cristaux affectent l'hexagone et cela par quelque cause semblable ; mais il vaut mieux attendre des nouvelles lumières sur ce sujet. »

Les éclaircissements demandés par Fontenelle ne tardent pas à venir. « Les pierres, répète Réaumur après les avoir longuement étudiées, semblent déterminées par la Nature à prendre différentes figures ; quelques-unes d'entre elles, comme le gypse et le cristal, sont limitées par des angles et par des arêtes ; d'autres, comme les cailloux, sont rondes et irrégulièrement arrondies ; ceci mérite une attention spéciale, et l'assertion de l'auteur sera critiquée par lui-même avant qu'il se permette de généraliser ses idées sur ce « petit sujet », à l'ensemble des minéraux.

Il s'était d'abord demandé si la rondeur des cailloux les caractérisait depuis leur première formation, ou s'ils l'avaient acquise par la suite ; la grande abondance de ces cailloux, toujours arrondis et trouvés dans les lieux les plus divers, conduit à penser qu'ils ont conservé leur forme originelle ; si cette dernière n'était due qu'à des altérations, sa constance forcerait à admettre qu'ils ont tous été soumis à des actions analogues venant de l'extérieur et l'on retrouverait dans les terrains qui les entourent une trace de ces modifications ; or, l'on ne remarque rien de semblable.

Nous sommes donc amenés à rechercher quel est le mode de formation de ces grandes quantités de cailloux ; la nature les aurait-elle créés comme les stalactites que nous voyons suspendus aux voûtes des cavernes ; cela est invraisemblable pour des raisons statistiques ; les grottes sont rares et par conséquent les stalactites qui s'y forment peu répandus dans la nature ; les cailloux, au contraire, se rencontrent pour ainsi dire partout. Malgré son ingé-

niosité, nous devons donc écarter cette manière de voir en apparence séduisante.

« Si l'on y fait bien attention, on ne peut se dispenser de croire que les cailloux qui composent différents lits, arrangés les uns sur les autres à de grandes profondeurs, n'aient été produits dans les places qu'ils occupent et avec les mêmes figures. » Les observations patientes et minutieuses de l'auteur sont des arguments en faveur de sa manière de voir ; et il a étudié les cailloux dans leurs gisements naturels.

Il imagine leur genèse ; un courant d'eau chargée de matière cristalline passe à travers un banc de terre qui la tamise en quelque sorte ; la substance pierreuse se dépose et agglutine les grains de sable fin qui l'ont retenue ; puis la même chose se répète autour du petit caillou ainsi formé ; et c'est ainsi par l'addition de couches concentriques que les cailloux grandissent. Nous remarquons pourtant au centre de chaque caillou un noyau de matière différente et plus dur qui se trouvait par hasard à l'endroit de sa formation ; ce noyau est la cause occasionnelle du caillou ; c'est lui qui retient le suc cristallin ici et non immédiatement à côté. « On tirera comme conséquence nécessaire de l'explication que nous venons de donner, que toutes les pierres formées de grains, comme celles qui ont une première matière de terre commune doivent aussi avoir une figure arrondie. »

La théorie de Réaumur (1) sur la formation des cailloux donna à quelques expérimentateurs audacieux l'idée de les reproduire artificiellement. « Bazin prit pour cela de la terre de potier, la détrempa dans beaucoup d'eau, puis après s'être assuré qu'elle ne contenait aucun gravier, la mit dans une écuelle de terre vernissée » ; il ajouta de la limaille de fer pour que le caillou éventuel dont il espérait la formation soit teint en rouge ; puis, il arrosa consciencieusement son écuelle tous les jours avec l'eau pure

1. A. D. S. 1739.

provenant d'un puits ; il l'ouvrit après trois ans de ce régime continu et eut le plaisir de trouver au milieu de sa terre, une petite pierre de la grosseur des cailloux qui sont habituellement dans le gravier. Encouragé par ce succès, « pour savoir plus sûrement ce qu'il en serait, ou plutôt pour le faire savoir à la postérité Bazin, a remis le reste de la terre dans la même terrine après l'avoir détrempée de nouveau ; au milieu de cette masse, il plaça une petite bouteille de verre bouchée où il a fait entrer un petit papier roulé qui porte son nom écrit avec une date ; on verra un jour si cette terre se sera pétrifiée autour de la bouteille ; mais il faut que le tout se sauve des accidents contraires au succès ».

Geoffroy (1) ne croit pas que la tentative de Bazin soit vouée à l'insuccès ; il est prêt à expérimenter d'autres méthodes qui conduiront au même but ; il lui semble évident que les pierres, de quelque nature qu'elles soient, cristallines ou non, grandissent dans un milieu convenable que le savant doit déterminer ; nous ne savons, toutefois, quels résultats il a obtenus et il semble bien probable, puisque ces expériences n'ont pas été renouvelées, qu'elles intéressaient médiocrement la génération nouvelle des physiciens.

5. Les dissertations et recherches d'ensemble ne doivent pas laisser dans l'ombre les travaux des nombreux observateurs consciencieux qui voulurent simplement bien connaître les minéraux s'offrant à leur curiosité ; ces savants qui bornèrent leur ambition à décrire des échantillons spéciaux rendirent souvent de grands services à la science : nous ne pouvons songer à énumérer les descriptions de pierres et de cristaux qui se trouvent renfermés dans les ouvrages de la période que nous étudions ; les cabinets d'histoire naturelle se sont multipliés. Le goût des collections qui les a créés est bien différent de l'esprit scienti-

1. A. D. S. 1746.

fique désintéressé qu'il contribua à former ; les hommes ont cherché dans chaque objet le rare et le merveilleux avant d'examiner sans fard les propriétés réelles des corps...

De Lassone s'en est plaint et beaucoup ont pensé comme lui « qu'avant de se livrer à aucune conjecture sur l'histoire du globe et de ses révolutions, il semble qu'il faudrait avoir pour chaque contrée une connaissance détaillée des différentes couches de la terre, de leur épaisseur, de leur étendue, de la nature des pierres qui les forment, des débris d'animaux et végétaux qu'elles renferment et des êtres vivants à qui ces dépouilles appartiennent ; cette connaissance est encore bien peu avancée, et la plupart des naturalistes ont été jusqu'à présent moins occupés à connaître le globe qu'à en arracher quelques morceaux propres à enrichir une collection » ; ils recherchaient avant tout les propriétés extraordinaires qui déroutent un moment l'imagination et qui par cela même l'excitent à donner une explication.

Cet état d'esprit, qui n'a jamais complètement disparu, était nécessaire à signaler pour faire comprendre que la découverte stupéfiante de la double réfraction dans un gemme aussi peu répandu que le cristal d'Islande, est une date importante de l'histoire de la science des cristaux.

Voici la description qu'en fournit Erasme Bartholin (1) : « Le cristal d'Islande se tire d'une montagne dont l'extérieur est entièrement formé de cette substance transparente et de couleur d'eau qui se ternit si elle vient à être humectée ; ce cristal se calcine à grand feu et se dissout dans l'eau forte.

« Les objets qu'on regarde à travers paraissent doubles lorsqu'il est épais, mais si on les regarde à travers une seule lame, car on peut le couper par feuilles, ils paraissent simples ; quand l'objet paraît double, l'une des deux

1. 1672, T. P. — *Curieux de la Nature.*

images est fixe tandis que l'autre est mobile suivant les mouvements du corps diaphane... La figure de ce cristal est celle d'un rhomboïde, ou d'un prisme rhomboïde et non seulement le corps entier a cette figure, mais encore toutes les parties lorsqu'on le casse ; il arrive parfois qu'on en trouve dans la même terre qui ont la figure d'une pyramide triangulaire. »

Ce simple exposé fait sans aucune prétention ne doit pas nous laisser croire que Bartholin ignorait la valeur de sa découverte ; il voit qu'elle fournit un programme des recherches des différentes branches de la science ; ajouter un chapitre à l'optique d'abord, puis attirer l'attention sur une grande quantité de cristaux qui sont peut-être biréfringents, mais dont la biréfringence n'est pas immédiatement observable quand on n'est pas prévenu. « Je me persuade, dit-il, que l'observation que j'ai faite dernièrement sur la nouvelle et merveilleuse propriété du cristal d'Islande engagera peut-être d'autres personnes à examiner avec plus d'attention la nature des réfractions et à s'assurer si cette double réfraction se trouve dans d'autres corps transparents, comme dans le cristal d'Islande. »

L'invitation pressante ne reste pas absolument sans effets. Huygens (1) signale à l'Académie des sciences de Paris la double réfraction du cristal d'Islande en même temps qu'il en fournit l'explication suivant la théorie des « Ondulations » ; il faudra toutefois attendre environ trente ans avant qu'un physicien observateur comme de La Hire, en remarquant la biréfringence du gypse des environs de Paris, prenne ce prétexte pour étudier les propriétés de cette pierre commune et si répandue.

La pierre à plâtre des environs de Paris peut se comparer au cristal d'Islande (2) non seulement par sa double réfraction mais aussi par l'ensemble de ses propriétés physiques. Ce n'est donc pas sans raison, dit de La Hire,

1. A. D. S. 1674.
2. A. D. S. 1710.

« qu'on peut appeler le spath d'Islande plutôt talc que cristal, puisqu'une de ces principales propriétés est de se fendre en tous sens, mais toujours parallèlement à l'une des six faces qui en forment la figure, laquelle est toujours un parallélipipède obliquangle ; et par conséquent les fragments seront des parallélipipèdes dont les huit angles solides qui sont de deux espèces, seront semblablement posés dans les plus petits morceaux comme dans les plus gros »... « de même le talc de plâtre est une pierre transparente qui a beaucoup de rapport au talc qui nous vient du Levant ; mais sa figure naturelle est toujours la même dans tous les morceaux que nous en voyons. Le plus grand rapport qu'il ait avec le véritable talc, c'est qu'il peut se fendre en lames et feuilles très déliées ; les feuilles du nôtre sont bien plus petites et bien plus cassantes que celles du talc ordinaire, mais les lames n'en sont pas moins transparentes.

« La figure de ce talc est à peu près semblable à un fer de flèche comme on le voit sur la figure ABCD, qui en représente une des faces, car il y en a toujours deux qui sont parallèles entre elles, et selon lesquelles la pierre se peut fendre en lames. On en trouve qui sont fourchues par l'un des bouts qui est le plus large, comme on le voit en CAD et l'autre extrémité se termine par une pointe dans les morceaux de médiocre grosseur. C'est au travers des deux faces qu'on voit les objets assez clairement dans les objets qui sont nets et blancs. »

« Quand on a enlevé quelques lames brutes qui sont sur la surface de ces morceaux de talc, on y aperçoit distinctement des traits comme EF qui vont de la ligne du milieu AB, vers l'extérieur ou les bords, tant d'un côté que l'autre, lesquels font avec la ligne du milieu AB un angle aigu AEF vers la fourche A de 60 degrés à peu près ; on y remarque encore d'autres lignes comme GH qui vont aussi du milieu vers les bords et qui font un angle aigu BGH vers la pointe B de 50 degrés, en sorte que l'angle aigu que font ces deux lignes quand elles se rencontrent est de

70 degrés » ; cette description permettra à de La Hire de deviner la structure et le mode de formation du gypse.

« On peut conjecturer de là assez vraisemblablement que la masse de ces deux morceaux de talc n'est composé que de lames très déliées qui ne sont pas fort attachées les unes avec les autres, et que chacune de ces lames est formée par des petites lames triangulaires qui en sont les éléments, lesquelles sont fortement collées ensemble par leurs côtés, ce qui fait qu'elles ont beaucoup de fermeté quoiqu'elles soient terminées... C'est dans la première formation de ces lames qui s'est faite d'abord, qu'elles ont pris une fermeté considérable, leurs éléments s'étant joints les uns aux autres par leurs côtés ; mais alors toutes ces lames ayant encore entre elles une matière liquide qui n'a pu se dissiper ou s'échapper qu'avec le temps, les lames n'ont pu se joindre très fortement les unes aux autres par leur superficie, en sorte que pour peu de matière étrangère qui soit restée entre deux, on aura toujours beaucoup plus de facilité à séparer les lames de ce morceau de talc, lesquelles paraissent aussi séparées les unes des autres, qu'à rompre ces mêmes morceaux de travers, car ils ont une très grande fermeté en ce sens là, ce qui peut venir encore de ce que chaque triangle élémentaire d'une lame supérieure ne répond pas exactement à ceux de la lame inférieure. »

L'angle rentrant en A lui semble dû à quelque accident de la cristallisation. « Pour ce qui est de la formation des cornes, je dis que s'il s'est rencontré quelques corps étranger vers A qui ait empêché les deux triangles élémentaires qui devaient s'y placer de se joindre à ceux des côtés, alors la liaison entre les deux parties de lame étant interrompue dans cet endroit, le reste a dû achever de se former, et se terminer dans la pointe de la corne par des lignes parallèles à EF d'un côté et d'autre en AC et en AD ; car la figure naturelle des triangles élémentaires en se joignant forment toujours des triangles semblables aux éléments.

De La Hire a surtout étudié la structure du gypse biréfringent dont les parties sont disposées par couches. De Jussieu (1) ne s'intéresse pas spécialement à la double réfraction ; il examine la pierre à plâtre qui venait d'être signalée à sa curiosité ; en dehors de la variété « en fer de lance » que nous avons décrit, il fait remarquer que le gypse peut se trouver en grosses masses informes ; ou encore en masses fibreuses ; mais les différences entre les manières de se présenter ne correspondent pas à des différences réelles et essentielles.

Ses propres observations lui permettent d'affirmer :

« 1° Que comme il y a des substances salines *vitreuses*, c'est-à-dire de la nature du verre, sulfureuses et métalliques répandues dans différents corps, il y en a de même des gypseuses mêlées dans de pareils sujets ;

« 2° Que ces parties gypseuses qui entrent dans la composition de certains mixtes ont une figure déterminée qui leur est propre, qu'elles conservent quelque altération qui puisse arriver à ces mixtes, soit par la calcination, soit par la trituration, soit même par le mélange d'autres corps employés pour les détruire ;

« 3° Que cette figure est si constante dans ces parties gypseuses, que lorsqu'elles abondent dans quelque sujet, les autres parties qui les composent avec elles, soit quelles soient salines, soit qu'elles soient métalliques, se conforment dans leur disposition à la figure de ces mêmes parties gypseuses.

« 4° Que ces mêmes parties gypseuses que l'on n'aurait point soupçonnées entrer dans la composition d'un mixte, ou que l'on y aurait cru détruites, après les y avoir aperçues, ne laissent pas de devenir quelquefois sensibles, de reparaître sous leurs formes ordinaires et de reprendre leurs premières qualités, ou par un effet naturel ou par le secours de l'art. »

De Jussieu ne donne pas les hypothèses précédentes

1. A. D. S. 1719.

comme des conjectures évidentes ; il a regardé avant d'affirmer ; il a observé au microscope les pierres à plâtre les plus diverses; celles qui sont composées presque uniment de « parties gypseuses parallèlipipèdes et de forme constante », ainsi que celles dont ces mêmes parties gypseuses sont mélangées de globules qui sont des impuretés.

Il accorde aux parties gypseuses quelques-unes des propriétés que les chimistes attribueront plus tard aux corps simples. Conservation de l'élément identique à lui-même quelles que soient les combinaisons dans lesquelles la nature le fait entrer ; et comme corollaire — possibilité d'isoler des « parties gypseuses » de composés qui masquaient leurs propriétés, et où nous ne les apercevions pas immédiatement.

Le chimiste ne doit donc pas s'imaginer qu'il crée la matière ; ses analyses et ses synthèses ne font que mettre en évidence ce qui existait sans son art. « De même qu'on ne doit reconnaître dans les minéraux et dans les métaux d'autres destructions que les métamorphoses qui arrivent par la désunion de leurs parties les plus intimes, de même on ne peut qualifier de reproduction ou de revivification que la réunion de ces mêmes parties intimes qui étaient séparées, et entièrement déguisées par l'addition de quelques autres aubstances qui leur étaient étrangères ».

Comme toutes les théories précédentes, celle que nous venons d'exposer n'eut pas d'influence immédiate ; sa forme est étrangement moderne, mais les faits sur lesquels elle est basée sont absolument erronés. On sent toutefois que les physiciens de l'avenir, ceux qui ont établi l'hypothèse féconde des « particules cristallines » ou celle des molécules chimiques intangibles, trouveront des cadres tout faits qu'ils n'auront qu'à modifier légèrement pour loger leurs nouvelles conceptions adéquates à la réalité.

La théorie de de Jussieu comme celle de de La Hire présentent à un tout autre point de vue un intérêt particulier ; de La Hire croit que le gypse est composé de lames minces. Bourguet, Beccaria, Buffon, Bergmann et

Laméthérie généraliseront cette hypothèse à tous les genres de cristaux, et expliqueront grâce à elle les surfaces planes limitrophes, ainsi que les clivages réguliers.

De Jussieu voit des particules gypseuses parallélipipédiques et de forme constante; Rouelle attirera l'attention sur la forme cubique des particules de sel marin. Haüy dont l'hypothèse réticulaire est universellement connue puisqu'elle est encore admise par les sciences d'aujourd'hui, extraiera par coupes naturelles un « parallélipipède primitif » de chaque cristal ; et les différentes formes de ce même cristal seront dues à des aggrégats géométriques des parallélipipèdes primitifs.

Ainsi pendant tout le XVIII[e] siècle, les cristaux seront comparés avec un égal succès soit à un empilement de lames planes, soit à un amoncellement de petits solides égaux et susceptibles de se superposer sans vides ; la fortune de cette dernière image fera oublier la première... nous venons d'assister à leur éclosion, et à leur opposition à propos d'un même corps cristallisé ; nous les retrouverons, diversement exposés, à chaque pas, dans le cours de notre travail.

6. Des ouvrages d'un tout autre genre attirent notre attention ; Cappeller (1) ne fait aucune hypothèse et se contente d'observer. Le cristal de roche tout d'abord, par sa forme, sa couleur et sa densité mériterait une étude spéciale ; toutefois notre auteur ne se contente pas d'examiner le quartz ; il veut montrer que d'autres productions naturelles présentent avec lui nombre d'analogies remarquables. Sans établir de système, avec une puissance d'abstraction et une largeur de vues qui dépassent infiniment les aperçus de ces prédécesseurs, Cappeller se propose de décrire l'ensemble des cristaux improprement nommés ainsi.

Il parle donc de tous les corps qui ressemblent au cristal de roche, soit par la régularité, soit par la transparence,

1. Le prodrome de Cappeler a paru à Lucerne en 1719 — analysé dans les T. P. de la même année.

soit par la forme, soit par quelque autre propriété essentielle ; son champ d'investigation est immense et ne peut s'apercevoir d'ensemble puisqu'il comprend les pierres, les métaux et les sels que l'on est conduit pour ne pas s'embrouiller à examiner séparément.

La première classe, celle des pierres, est infiniment extensible ; elle contient un grand nombre d'espèces : le diamant et la pyrite surtout sont remarquables par la constance de leurs formes ; les autres pierres ressemblent plus ou moins aux cristaux avec lesquels elles n'ont souvent qu'une analogie superficielle.

La seconde classe est celle des métaux : elle comprend les herborisations de l'argent et autres végétations métalliques dont la figure est essentiellement variable.

La troisième classe, celle des sels chimiques obtenus dans les laboratoires ou observés dans la nature, est particulièrement intéressante ; la forme des morceaux de chaque sel est déterminée dans chaque espèce, et par analogie nous les avons appelés cristaux, comme les échantillons isolés de cristal de roche.

Nous sommes amenés à rechercher le mécanisme physique de la cristallisation qui doit être le même avec des modulations diverses, dans les cas les plus divers ; différentes réflexions suggèrent à Cappeller l'explication suivante : « des particules d'une forme déterminée, nageant dans un fluide d'une certaine consistance, sont mues, soit par le mouvement intestin de ce fluide, soit par le mouvement de l'air circulant continuellement dans ses pores, soit encore par une toute autre cause ; elles sont amenées ensemble pour former un plus grand corps d'une taille proportionnée soit à leur degré d'impulsion, soit à leurs formes primitives, soit aux deux choses à la fois ! Cet acte de cristallisation assez uniforme quant à l'union des particules considérées par elles-mêmes, est cependant très varié, et a des effets différents, suivant la nature des fluides dans lesquels les cristaux se forment et du degré de perfectionnement auxquels ils sont arrivés.

C'est donc grâce aux circonstances accidentelles d'une cristallisation toujours analogue à elle-même que nous pouvons distinguer par leur mode de formation, plusieurs espèces de cristaux. Cappeller en décrit six sortes.

1° Cristaux se formant par le refroidissement du fluide acqueux qui leur servait de dissolvant ; ex. : cristal de roche, sel gemme.

2° Cristaux se formant au sein d'un acide corrosif qui refroidit ; ex. : pierres et quelques sels.

3° Cristaux formés par l'évaporation du fluide dans lequel ils sont dissous ;

4° Cristaux formés par sublimation, distillation ; ex. : neige ;

5° Cristaux formés à la couche de contact de deux surfaces de nature différente ; ex. : glace prend naissance au contact de l'eau et de l'air et reste entre les deux à l'endroit où elle s'est formée ;

6° Cette classe comprend les concrétions telles que les stalactites que nous n'avons pu faire rentrer dans aucune des classes précédentes.

Cappeller peut être considéré à juste titre comme le fondateur de la véritable science des cristaux ; avant lui bien des espèces de pierres angulaires furent décrites ; mais les savants en les dépeignant recherchaient soit, comme Sténon, des éclaircissements sur l'origine générale des pierres, soit comme de La Hire quelle était la structure d'une espèce particulièrement remarquable ; ils ne se souciaient pas de définir les cristaux, d'observer leurs formes réciproques, de les classer, soit par leurs différences de composition, soit par leurs différences de formation. Si le « prodrome » de Cappeller ne fixa pas définitivement une science nouvelle, nous retrouverons tout du moins la trace de son influence dans les ouvrages ultérieurs ; Bourguet rapprocha peu d'années après les cristallisations naturelles des cristallisations artificielles obtenues dans les laboratoires ; il entre dans une voie nouvelle et fait à la fois œuvre de physicien et œuvre de naturaliste ; la cristal-

lisation est, on le voit, commune à un grand nombre de corps ; il ne reste plus qu'à les étudier.

7. La cristallisation n'est cependant qu'une petite partie de la nature qui attire tout entière la curiosité encyclopédique de Bourguet (1) ; il se propose, en même temps que d'autres problèmes suggérés par le règne minéral, d'expliquer la formation des pierres angulaires remarquables. « Il tâche de montrer par des raisons appuyées sur les phénomènes, que le plus grand nombre d'entre elles viennent ou de la formation primitive de la terre ou de son renouvellement au temps du déluge (2) » ; celles que nous voyons se former journellement, comme les cailloux trouvés dans le fond de certaines rivières, ou encore les stalactites qui pendent aux voûtes des cavernes, sont dues à la dissolution par l'eau des couches terrestres déjà existentes qui sont venues se déposer dans des endroits privilégiés ; la matière est créée une fois pour toutes et ne naît plus aujourd'hui ; il faudra absolument recourir à la théorie de la terre pour donner une explication convenable de la formation des pierres.

Reportons-nous donc à l'époque de la solidification du globe — « quand le fluide dans lequel toutes les particules de la terre étaient différemment agitées, vint à s'exhaler, à s'exprimer et à perdre de son mouvement, il donna par là le temps à ces particules de se lier et de composer une infinité de bancs de terre, de marbre, d'argile, de craie et de marne ; elles produisirent en même temps des cristallisations de toutes espèces », telles que les sels et les pierres plus ou moins dures que l'on connaît sous les noms de fleurs sélénites, cristaux de roche, marcassites et pierres précieuses.

Ces cristallisations qui sont entièrement renfermées dans différents lits n'ont « point d'autre origine que celle que

1. *Lettres philosophiques*, 1729.
2. *Traité des pétrifications*, 1745.

leur procura la condensation des lits mêmes » ; elles sont donc contemporaines des couches de terre dans lesquelles nous les découvrons aujourd'hui ; comment se sont-elles formées ? « L'eau mêlée d'air qui avait été le véhicule des lits de pierres, s'exprimant de tous côtés à mesure que ses couches prenaient la place qu'elles occupent présentement, et qu'elles achevaient de se condenser, amena une grande quantité de molécules cristallines dont les moins dissoutes se réunirent en traversant les couches et y formèrent des veines ; les autres suivirent l'eau et s'introduisirent dans les vides qui se formaient au milieu des couches mêmes par la variété des efforts environnants. Et c'est dans ces vides que les particules ont fait ces belles *cristallisations attachées en tout sens* aux cavernes qui les renferment comme le tartre dans les tonneaux.

« D'autres particules mêlées avec une quantité de sable extrêment menu, ou de terre fort fine se sont liées autrement et ont formé des cristallisations solitaires qui n'adhèrent nulle part ; mais l'agitation du fluide et celle de ces molécules n'étant pas assez déterminée, ni par le mouvement général du fluide, ni par le mouvement particulier des molécules, les productions qui en sont les effets, même les plus parfaites, n'ont pu manquer de *porter des marques évidentes de l'irrégularité* de leur origine ; et c'est la raison pour laquelle de tous les cristaux qu'il y ait au monde, il n'y en peut être pas un seul dont les côtés soient parfaitement égaux quoique leur forme soit toujours l'hexagone. »

Le cristal de roche est tellement répandu dans la nature que c'est en partant de l'étude de ce corps que Bourguet tentera de fixer son opinion particulière sur la forme des particules et le structure des cristaux en général ; il n'aura plus qu'à confronter sa théorie avec l'observation des cristallisations salines pour voir qu'elle peut s'appliquer à tous les cas particuliers !

« Le sentiment général, dit-il, est que les petites particules du cristal de roche ont la même figure que le cris-

tal lui-même. Leewennoek a prétendu le montrer par ses admirables recherches au microscope ; cependant il s'est trompé, car ces prismes hexagones viennent d'une infinité de triangles équilatéraux d'une petitesse extrême; j'en appelle à tous les curieux... ils verront s'ils veulent s'en donner la peine, à l'œil nu ou avec une loupe, ces petits triangles qui paraissent plus ou moins nettement sur les six côtés du sommet pyramidal des cristaux, et qui, réunis en nombre suffisant, forment les grands triangles dont les bases — que le liquide environnant contraint de s'approcher en rond, produisent l'hexagone même. »

Si une observation superficielle nous montre que le cristal est sans aucun doute l'un des plus admirables fossiles à cause de la régularité ordinaire de sa figure hexagonale, l'examen attentif de sa structure nous surprendra d'avantage ; ces petits triangles que nous apercevons sans instrument sont composés d'autres triangles, encore beaucoup plus petits, visibles seulement au microscope.

Cependant à ce point de vue les cristaux sont éminemment variables ; dans quelques spécimens l'on découvre les triangles à l'œil nu, dans d'autres l'on ne discerne rien, même avec une très bonne loupe ; ces différences doivent provenir des matières étrangères entraînées entre les molécules du cristal qui mettent parfois son mode de formation en évidence ; au contraire, « la matière du cristal a pu être si pure, les triangles se sont unis avec tant de régularité qu'ils ont formé une belle glace dont la surface est absolument lisse ».

L'auteur n'a pu faire sa découverte et les lecteurs ne pourront donc vérifier ses idées sur la structure générale des cristaux qu'en regardant quelques échantillons particuliers comme ceux que l'on a conservés à la bibliothèque de Genève, où l'on voit sur les morceaux exposés « des tables triangulaires qui se succèdent, l'une à l'autre séparées par une espèce de terre ou de poussière d'un jaune pâle ».

Bourguet tire de sa découverte deux conséquences du même ordre :

« 1° L'origine du cristal n'est pas différente de celle de toutes les cristallisations sans exception. soit naturelles, soit artificielles.

« 2° L'explication des phénomènes que l'on remarque dans le cristal de roche, conviendra également à tous les corps cristallisés sans aucune exception.

« Ces phénomènes sont au nombre de trois :

« 1° La grosseur de chaque quille est aussi uniforme que possible depuis la base jusque là où commencent les faces triangulaires.

« 2° Les pièces de cristal sont souvent inférées et quelquefois entrelacées les unes dans les autres.

« 3° Les faces ou tables des pyramides changent leurs côtés avec tant de variété qu'il est rare d'en trouver dont les grands triangles soient égaux. »

Voyons maintenant dans son ensemble le mécanisme de la formation du quartz ; « il nous faut remarquer tout d'abord que les triangles qui composent, ainsi que nous venons de le constater, le cristal et les autres corps cristallisés peuvent s'unir ou se lier par leurs bases ou par leurs côtés, sans quoi il serait absolument impossible qu'ils puissent jamais composer des masses régulières ». Les obstacles qui s'opposeront au rapprochement des particules empêcheront donc la cristallisation géométrique de se produire ; la place pourra leur manquer et elles ne se mouvront pas librement ; ou encore le liquide cristallogène sera agité violemment et les molécules ne pourront se réunir en masses régulières.

La raison de la variété de grosseur des quilles du cristal attaché au roc provient de la manière dont les petites pyramides qui se sont trouvées séparées en forme de pointes de diamant, hors du rocher, ont rencontré les pointes pyramidales d'autres particules et se sont liées avec elles ; elles ont formé ensemble des prismes dont

le diamètre est constant dans chaque échantillon particulier ; c'est donc des divers diamètres des pyramides qui servent de base que dépend celui des longues quilles hexagonales.

« Les cristaux terminés par deux pointes sont dus à ce que plusieurs petits triangles se sont réunis par la base opposée ; ils se sont formés dans le liquide avant de tomber au fond ; la quantité de terre ou de sable mêlée à l'eau a aidé à les soutenir pendant le temps de leur formation... ceux qui sont *entrelacés en divers sens* ont eu leurs bases qui se sont trouvées tournées par celles des pyramides environnantes, et les petits triangles qui sont ensuite survenus ont nécessairement suivi ces différentes directions. »

« La variété que présentent les côtés des pyramides n'est ordinairement sensible que vers l'endroit où finit le cylindre hexagone même ; tandis que les molécules cristallines sont en assez grande abondance, le cylindre se forme avec une régularité à de petites différences près ; mais lorsque la quantité de matière cristalline vient à diminuer, les plans qui ont le plus de largeur en retiennent par cela d'avantage ; et les triangles se formant là empiètent alors ou sur les deux côtés opposés ou sur un seul ; celui-ci empiète à son tour sur son voisin et ainsi de suite ; cette alternative est quelquefois poussée jusqu'à ce que l'un des triangles disparaisse pour laisser la place aux autres. » Il faut pourtant remarquer que la forme des grands et admirables cristaux n'est presque jamais altérée par les circonstances de la cristallisation ; observons de très près.

« Si les particules qui composent le cristal ne s'attachent point aux côtés quelquefois fort unis, bien qu'ordinairement rayés de l'hexagone ; si au contraire, elles s'attachent toujours aux plans des triangles des pyramides, c'est que l'eau, l'air, et une matière encore plus subtile qui donne le mouvement aux particules de l'eau passant entre les plans de ses triangles, produit à leur égard les

mêmes effets que le frottement sur la superficie polie des corps électriques ; elle met en mouvement leurs particules et celles de la matière liquide qui les environne ; et ainsi elle les presse, les unit fortement ensemble par une espèce de tourbillons qui fait proprement ce qu'on appelle l'*attraction* dans le sentiment de Newton ; les *mouvements conspirants* chez Leibniz et la pression ou l'équilibre dans le père Malebranche. »

Ici Bourguet sort de l'histoire naturelle pour entrer dans le domaine des sciences physiques ; il applique aux sels chimiques la théorie que l'observation des cristaux de roche lui a suggérée, et son système a d'autant plus de force que les constatations les plus diverses fournissent des arguments en sa faveur. Il ne faut pas, dit-il, attacher d'importance aux irrégularités accidentelles qui nous empêchent parfois d'apercevoir le plan qu'emploie la nature dans les cristallisations. « Il nous arrive à cet égard ce qui arriverait à un homme qui regarderait une armée du haut d'une montagne ; il verrait en gros un amas plus ou moins régulier, mais il n'observerait pas les soldats qui la composent ni l'ordre qui y est observé ; les corpuscules invisibles et impalpables sont comme dans un éloignement infini pour notre imagination. Cependant dès que leur activité les met dans un certain point, alors, nous pouvons les imaginer, les voir ensuite avec un microscope, et enfin les apercevoir par la simple vue. »

D'autres pierres d'origine ancienne sont analogues au cristal et se forment de la même manière ; ce qui ajoute encore un intérêt à l'explication que fournit Bourguet du phénomène si répandu dans la nature qu'est la cristallisation : « tout ce qu'il a dit jusqu'ici du cristal de roche, convient si fort à toutes les autres pierres plus ou moins dures, qu'on peut appeler cristallisées, par rapport à leurs figures angulaires et à leur plus ou moins de transparence, et l'application en est si facile qu'il ne paraît pas nécessaire de s'y arrêter. Car la formation de l'*hyacinte*, de l'*amé-*

thiste, du *grenat*, du *saphir*, de la *topaze*, de l'*émeraude*, du *rubis*, du *diamant* et des autres pierres précieuses de cette classe ne diffère point essentiellement de la formation du cristal... elles ont ceci de commun avec lui qu'elles ne se forment point aujourd'hui quoiqu'en aient dit quelques voyageurs sur les rapports des mineurs peu instruits en cette matière. » Même raisonnement à propos des cristallisations parallélipipèdes du gypse et du talc, rhomboïdales du cristal d'Islande, qui n'ont pas besoin d'une discussion particulière, puisqu'elles ne diffèrent de celles du cristal que par la nature et la configuration de leurs particules.

Si la plupart des pierres cristallines proviennent de la création même du globe, quelques-unes d'entre elles se forment aujourd'hui à la suite d'une nouvelle trituration des particules qui les composent ; le stalactite que le « vulgaire croit être de l'eau changée en pierre » est dans ce cas, et l'on peut observer en examinant attentivement les parois de certaines cavernes la manière dont il prend naissance. « Je remarquai, dit Bourguet, que l'eau qui coule lentement par diverses fentes du roc, s'arrête pendant quelque temps en forme de gouttes au haut d'une espèce de voûte formée par les bancs du rocher. Là de petites molécules cristallines que l'eau entraîne en passant à travers les bancs se lient par leur côtés, pendant que la goutte demeure suspendue et y forme de petits tuyaux à mesure que l'air s'échappe par la partie inférieure de la petite bulle qu'il formait dans la goutte d'eau. Ces tuyaux s'allongent peu à peu en grossissant, par une accession continuelle de nouvelles matières, puis ils se remplissent, de sorte que les cylindres qui en résultent sont ordinairement arrondis vers le bout d'en bas, tandis qu'ils sont encore suspendus au rocher. Mais dès qu'ils s'unissent avec les particules cristallines, qui, tombant plus vite, forment un sédiment à plusieurs couches, au bas de la grotte, ils ressemblent alors à des arbres qui du bas s'élèvent jusqu'au comble de la voûte. »

Les citations précédentes donnent un exemple saisissant de la méthode suivant laquelle Bourguet étudiait un objet particulier. Ainsi que l'avait fait autrefois Sténon, il joint à la description de chaque cristal un historique de ce cristal; il lui semble impossible d'avoir la connaissance complète d'un corps s'il ignore dans quel milieu ce corps a pris naissance, et comment il s'en est séparé; nous devons donc reconstituer mentalement puisque l'expérience est impossible, la série des transformations naturelles qui a abouti à l'existence des « pierres angulaires ». Et en effet les lettres de Bourguet nous font assister à la formation des bancs de terres de toutes sortes dans lesquelles nous découvrons les divers cristaux.

Considéré à ce point de vue, Bourguet est un continuateur de Sténon, un adepte du mécanisme cartésien; ceci est vrai dans les grandes lignes; mais en y regardant de près, nous démêlerons dans son œuvre les autres influences qui ont agi sur la pensée scientifique, et qui ont élargi la méthode au point de faire craquer le cadre que Descartes avait imposé aux méditations humaines;... influences matérielles d'abord; la découverte du microscope et l'emploi qu'en font les savants, attire l'attention sur les particules très petites qui par leurs réunions forment les cristaux observables. Leewenhoec tente de déterminer par des observations microscopiques la figure du sel marin, du sucre, des sels, du sable et du cristal de roche. Le nombre infiniment grand de ces particules effraye l'imagination — et puis celles que nous pouvons observer sont peut-être formées d'un nombre immense de molécules plus petites encore; où s'arrêtera notre analyse? Comment notre raison qui n'aperçoit que « quelque apparence du milieu des choses » fera-t-elle une synthèse de cet infini insaisissable? et pourtant la science progresse! Pour ne pas nous perdre dans la trajectoire immensément compliquée d'un seul de ces atomes, nous raisonnerons sur un groupe de particules identiques, soumises aux mêmes lois; les individualités, si l'on peut s'exprimer ainsi, seront effacées;

nous serons de nouveau maîtres des éléments de notre pensée. Le cinétisme que nous rencontrons à chaque page de Bourguet s'allie d'ailleurs heureusement avec ce qu'il conserve de mécanisme, — il en bouche pour ainsi dire les trous, et sert plutôt à expliquer l'acte de la cristallisation que la structure des cristaux.

D'un autre côté la découverte de « l'attraction universelle » fournit un modèle commode à toutes théories cinétiques. — Les molécules s'attirent comme les astres et par suite les phénomènes naturels tels que la dissolution et la cristallisation sont dus à des réactions de particules dont l'ensemble reproduira les observations à notre échelle. Ainsi la loi des grands nombres et la loi de Newton se prêtent un mutuel appui ; grâce à elles, l'existence du cristal ne présente plus d'obscurité. « Les lois générales du mouvement et la figure des molécules qui composent ces curieuses productions minérales suffisent pour expliquer mécaniquement leur formation. On pourrait réduire ces lois à la seule pesanteur qui est un effet immédiat de la construction systématique du monde. »

Une remarque d'un autre ordre s'impose. Bourguet s'appuie, nous l'avons vu, sur la formation du cristal pour expliquer sa structure, — la quille hexagonale est formée de lames plates et triangulaires qui s'empilent les unes sur les autres ; le quartz semble présenter des analogies avec le gypse biréfringent que La Hire a décrit ; quand les physiciens découvriront la double réfraction du cristal de roche, ils reconstruiront avec des modifications plus ou moins grandes le système de Bourguet qui aura eu ainsi une grande influence sur le développement des idées.

8. Barrère (1), de même que Bourguet, et encore plus que ce dernier, s'éloigne du pur mécanisme ; il n'a pas de prétentions philosophiques, et s'attache simplement à décrire « les pierres, qui tant extérieurement qu'intérieurement,

1. *Observations sur l'origine et la formation des pierres.* Paris, 1746.

ont une figure régulière et déterminée » ; ces pierres telles que le diamant, le cristal de roche, le cristal d'Islande et certains talcs sont très répandus dans la nature ; « elles sont feuilletées ou formées de plusieurs feuillets ou lames très déliées suivant lesquelles elles se peuvent fendre aisément ». Les clivages eux-mêmes montrent la structure des cristaux et ont une forme géométrique, rhomboïdes, triangles, parallèlogrammes, carrés ou encore hexagones, — leur figure régulière est constamment la même dans la même espèce de pierre.

Comment ces pierres se sont-elles formées ? Leur analogie, dit « Barrère, avec les cristallisations que l'art opère est si grande que la connaissance des unes doit avec raison faire espérer celles des autres » ; la physique expérimentale et non plus la physique hypothétique et mathématique va projeter ses lumières sur les questions d'histoire naturelle !

« Dans les cristallisations artificielles simples et exemptes de tout mélange, l'on aperçoit sensiblement sur la surface de l'eau où un sel a été dissout, (après avoir cependant laissé reposer la solution), une infinité d'atomes ou petits corpuscules, lesquels observés avec une loupe, m'ont paru être des rhomboïdes dans le vitriol et dans la soude, des carrés dans le sel gemme, dans le sel marin, dans le sucre, des triangles équilatéraux dans l'alun, des filets triangulaires dans le nitre. Plusieurs de ces petits atomes s'unissant les uns aux autres, forment des molécules sensibles ; les molécules unies avec d'autres molécules en constituant des plus grandes, se précipitent au fond du vaisseau ou se joignent successivement à d'autres molécules du même ordre ; elles forment enfin des corps plus considérables ou cristaux.

« Or un mécanisme tout semblable concourt assez probablement à former les pierres qui sont l'objet de nos recherches. En effet la formation du talc rhomboïde peut être rapportée à la cristallisation du vitriol et de la soude. Le cristal d'Islande, certains talcs en parallélipipèdes peu-

vent résulter de petits carrés ou de petits cubes ainsi que le sel gemme et le sel marin, qui ne diffèrent du talc rhomboïde ou trapézoïde qu'en ce que celui-ci a des angles obtus et aigus, au lieu que ceux du sel gemme et du sel marin sont de 90 degrés. Le cristal de roche, le diamant peuvent cadrer avec la cristallisation du nitre. Ces sortes de pierres ainsi que ce sel affectent pour l'ordinaire une figure hexagone ; or si leurs parties sont elles-mêmes hexagones, et si de plus elles s'assemblent les unes les autres obliquement ou comme sur un plan incliné, ainsi qu'on l'aperçoit en examinant leur structure intérieure, il doit en résulter un prisme à six faces, coupé en onglet par les bouts, lequel prisme sera quelquefois en pyramide, si les particules cristallines diminuent proportionnellement par les côtés et continuent à s'arranger dans le même sens...

« On ne peut donc s'empêcher de sentir que les figures régulières, constantes, qu'affectent les pierres dont il s'agit doivent se rapporter à celles de leurs parties insensibles régulières, comme à leur cause principale, mais que l'arrangement régulier des parties entre elles y ait aussi quelque part. En un mot la formation des pierres à figures, tant extérieurement qu'intérieurement naturelles dans laquelle tout se passe de même que dans la cristallisation artificielle des sels, c'est-à-dire que les parties cristallines nageant dans un liquide, sont déposées dans le sein de la terre, où il se fait une adhésion successive des parties régulières, d'où il résulte nécessairement à la fin un dernier tant de finesse régulière. Plus on examine l'analogie et les rapports sensibles qui règnent entre les cristallisations naturelles et celles que l'art opère, plus on est en droit de se croire jusqu'à un certain point sur la route de la vérité ; plus une manière d'agir de la nature est générale, plus elle est de son génie. Peut-être la nature pressée par l'opiniâtreté des observations sera-t-elle forcée à découvrir entièrement son secret. »

La méthode préconisée par Barrère, pour découvrir la

génèse des cristaux est donc sévèrement expérimentale ; la pensée est impuissante à découvrir par sa seule force l'origine des produits naturels ; nous voici bien loin de Descartes et de Sténon. Nous sommes tout aussi éloignés de Newton et de Bourguet ; pas de théorie cinétique, pas de lois générales concernant les particules matérielles et leurs attractions mutuelles. Un seul avis donné au savant sur la manière de concevoir l'expérience : qu'elle soit aussi large que possible ; qu'elle tâche de dévoiler dans toute sa profondeur le phénomène « mystérieux » qu'est la cristallisation, plutôt que de s'obstiner sur un cas particulier ; un grand champ d'action s'ouvre devant les curieux futurs ; il est vrai qu'amenés de la minéralogie à la physique, beaucoup ne verront plus comment retourner de la physique à la minéralogie !... Quoi qu'il en soit, Barrère, comme ses prédécesseurs, n'entraînera pas la science dans les voies nouvelles, il n'est pas chef d'école ; après comme avant lui la cristallographie se dégagera peu à peu et sans discipline des travaux de toutes sortes que fournit l'étude des minéraux.

9. Les descripteurs minutieux, les purs minéralogistes étudiant avec attention les échantillons remarquables que leur rude labeur a arraché à la terre sont eux-mêmes frappés de la régularité géométrique des pierres dites angulaires ; ils n'attachent pas à la chose une importance exagérée ; et la description des cristaux tient une place très restreinte dans les écrits indigestes, lourds, savants et touffus du célèbre naturaliste Henckel (1).

Les formes de la pyrite l'intéressent un instant pourtant ; on peut les déduire les unes des autres et à ce propos on remarque « l'avantage que les mathématiques ont sur beaucoup d'autres sciences ». La nature suit souvent des lois géométriques dans le règne minéral : « Si l'on considère les figures et les formes des autres mines et des

1. Mort en 1744. L'édition française de ses œuvres est due au baron d'Holbach.

.. ..

pierres, qui selon toutes les apparences ont leurs causes quoiqu'elles ne nous soient pas encore connues, et si l'on compare à celles de la pyrite, on trouvera que la nature s'est pareillement plue à parer et à embellir ce minéral ». La cristallisation n'est donc pas une propriété essentielle des minéraux. C'est par une sorte de coquetterie qui ajoute à leur beauté, qu'ils sont parfois doués d'une forme régulière, admirable.

Les cristaux de roche paraissent moins étonnants à Henckel et il donne une explication toute physique de leur cristallisation. « C'est un moyen par lequel les petites parties solides qui se trouvent atténuées, étendues ou dissoutes dans un fluide se réunissent en corps sec, dur, continu, et par conséquent transparent ou au moins demi-transparent, qui affecte toujours une forme géométrique, étant ou cubique, ou prismatique, ou conique, ou disposé en feuillets ».

C'est le moyen que la nature emploie quand les sels se déposent de leurs solutions, ou quand le calcaire prend une figure cristalline dans les petites cavités où il se solidifie.

Ainsi même les auteurs les plus éloignés des travaux de laboratoire croient que la physique expérimentale aidera à résoudre les problèmes soulevés par les cristallisations naturelles ; pour être exact cependant, nous devons remarquer que les minéralogistes qui étudiaient les minéraux et les mines de métaux usuels tels que le fer, le cuivre et le plomb se souciaient peu de déterminer les formes régulières d'échantillons remarquables dignes d'entrer dans les collections de curiosités naturelles ; cette préoccupation d'amateur n'intéresse Henckel qu'en passant, à titre de récréation ; il ne s'obstine pas à rechercher les lois de la cristallisation ; il mentionne une fois pour toutes les solides géométriques qui caractérisent les pyrites, puis décrit minutieusement les aspects physiques des corps qu'il est amené à observer. Ce ne sont pas les mineurs qui ont créé la cristallographie ; ils adopteraient

plutôt une classification chimique des minéraux et ne songent pas à les ranger suivant leurs caractères extérieurs ; leur effort que nous n'avons pas à analyser ici n'a pas été négligé par les savants qui ont essayé plus tard de faire une synthèse des faits connus ; nous ne pouvons que les signaler en passant.

10. Vers le milieu du XVIII[e] siècle, il devint très à la mode d'avoir en sa possession, un cabinet d'histoire naturelle, contenant nombre de cristaux, de pierres précieuses ou de pierres rares. Beaucoup de savants publient soit dans des revues scientifiques, soit en volumes séparés, leurs idées générales concernant les minéraux ou leurs observations particulières sur un minéral défini (1) l'abbé de Sauvages Francheville, (2) Montesquieu, (3) Pott, (4) Daubenton, (5) Guettard, (6) Gontran de Robien, etc., sont des amateurs consciencieux, qui notent scrupuleusement les différents aspects des pierres cristallisées ; mais leurs travaux ne sont guère systématiques. L'abbé de Sauvages décrit quelques dendrites curieuses. Gontran de Robien note quelques appréciations sur les pyrites et sur les fossiles. Montesquieu examine les cristaux très réguliers observés près de Banière de Bigorre. Guettard étudie isolément les granits. Francheville décrit avec attention le sel marin. Pott est surtout préoccupé par la chimie ; il voudrait reconstituer les minéraux les plus complexes par la seule action du feu. Il y a place pour un ou plusieurs traités généraux, et il est clair qu'un tel ouvrage aurait beaucoup de lecteurs.

Cet ouvrage manque encore en France ; le baron d'Holback s'en émeut, et traduit en notre langue, le *Traité*

1. A. D. S. 1745.
2. Berlin, 1765.
3. T. P. 1743.
4. 1753.
5. A. D. S. 1750.
6. 1751.

de Minéralogie du savant suédois Wallérius (1). Jusqu'à présent dans ce pays le *Manuel du parfait joailler*, vieux de plus d'un siècle, un des premiers ouvrages de science écrit en langue vulgaire, était le seul ouvrage classique sur la naissance et les propriétés des pierres ; mais beaucoup de progrès ont été faits depuis son apparition ; il n'est plus une autorité ; c'est un travail de bijoutier crédule, aussi sensible aux qualités médicinales ou morales attribuées aux pierres précieuses, qu'à leurs formes naturelles, à leur taille, et aux légendes qui entretiennent la popularité des gemmes et facilitent quelque peu leur vente ; il est temps qu'un auteur plus moderne vienne supplanter Boece de Boot (2).

Wallérius eut dans toute l'Europe un succès mérité et durable ; il donnait un aperçu philosophique d'une science dont chaque savant n'avait eu jusqu'à présent qu'une vue fragmentaire et incomplète ; s'il ne résoud pas tous les problèmes qui intéressent le minérologiste, ou si ses solutions ne sont pas de nature à satisfaire tout le monde, il met du moins en lumière la question et sa discussion. S'il ne prétend pas donner de chaque sujet une explication définitive et complète, il veut du moins éclairer l'opinion ; il met le public au courant de toutes les interrogations que l'examen attentif des produits de la croûte terrestre pose à la raison humaine.

Un ouvrage d'une telle envergure sur une science relativement récente, ne se prête que difficilement à l'analyse ; aucune méthode ne la domine. Des coups de sonde sont donnés dans toutes les directions mais sans ordre ; l'auteur ne tente aucun exposé systématique et se contente de tracer les voies que les savants ultérieurs suivront en se spécialisant... Il définit les minéraux et les différencie définitivement des êtres vivants (3) ; il étudie leur accroissement et leur mode de formation ; il étudie

1. 1753.
2. 1674.
3. Voir introduction pour citations de Wallérius.

leur cristallisation et cherche à déterminer quel est le principe constituant responsable de la forme des pierres angulaires; il se demande si tous les cristaux proviennent d'un corps liquide peu à peu solidifié; si l'on peut reproduire artificiellement certaines espèces, telles que les agathes, et si la résolution d'un tel problème ne jetterait pas un jour nouveau sur les circonstances encore mal connues de leur « coagulation naturelle ». Il avoue ne pas savoir si les couleurs des gemmes transparentes doivent être considérées comme un caractère spécifique, ou si ces teintes variées ne sont dues qu'à l'adjonction d'une très petite quantité de matières étrangères, etc.

Il donne une classification des minéraux d'après leurs propriétés chimiques, mais ne semble pas attacher à sa méthode d'exposition une grande importance ; il range les espèces d'après leur composition comme d'autres les rangent alphabétiquement, pour des raisons de commodité uniquement. Ce qui importe ce sont les descriptions ; les siennes sont précises, claires et permettent à tout amateur un peu au courant des procédés de la Science de nommer les échantillons qu'il aura arrachés au sol

Il ne néglige pas, au milieu de toutes les questions qui le préoccupent, d'examiner avec attention la morphologie des cristaux. Leurs formes qui au premier examen semblent constantes sont-elles caractéristiques ? peuvent-elles permettre de définir un minéral aussi rigoureusement que l'analyse chimique ? Ou sont-elles susceptibles de variations individuelles ? On ne saurait rien affirmer de sûr, conclut-il en étudiant le quartz. « Lorsqu'on a dit ici que les cristaux de roche étaient en pyramides ou en prismes, on n'a point prétendu marquer par là que leur figure représentât exactement une pyramide ou un prisme, on ne dit pas non plus qu'il se trouve une précision géométrique dans les mesures des côtés qui les composent. »

Ainsi Wallérius qui s'intéresse à la forme cristalline des minéraux, qui croit que la connaissance pratique de ces formes facilitera la détermination des minéraux, ne

soupçonne en aucune façon la loi géométrique de constance des angles dièdres, que Romé de l'Isle énoncera plus tard, amplifiant avec le succès que l'on sait un aperçu donné par Linné dans son *Système de la Nature.*

Il reste à Wallérius l'honneur d'avoir fait entrer la science des cristaux dans le domaine scientifique accessible à tous ceux qui ont une bonne culture scientifique. Si l'auteur se contente parfois de généralités séduisantes, ou s'il se borne à montrer qu'entre les cristallisations et les autres phénomènes de la nature, il existe de nombreuses analogies, il ouvre un nouveau domaine à la curiosité des amateurs ; il est vrai que par la même occasion, il attire les réflexions dans un labyrinthe de digressions s'allongeant à l'infini et dans tous les sens. Wallérius, si l'on me permet cette comparaison géométrique, a réalisé la projection de toutes les connaissances humaines sur le plan minéralogique ; par son allure universelle, son œuvre a captivé les esprits ; elle est d'ailleurs un des produits les plus caractéristiques de l'époque qui l'a vu naître. Le lecteur, peu intéressé peut-être par l'étude du quartz et du spath calcaire, retrouve en note à leur sujet l'énoncé et la solution des problèmes généraux de philosophie que le goût du jour pose à toute la nature. Il n'a pas besoin d'étudier systématiquement la minéralogie dans ses détails pour comprendre son importance; le livre ouvert au hasard présente sous un aspect saisissant une question qui le passionne ; la description de chaque pierre, en dehors de son utilité propre peut avoir une plus grande portée. L'esprit collectionneur également est excité sans efforts ; l'on tiendra à rassembler les pièces décrites dans le traité, et l'on en recherchera d'autres rares ou remarquables ! De nouvelles espèces seront bientôt signalées de toutes parts aux savants spécialistes qui enregistreront avec reconnaissance tout renseignement inédit.

Ainsi par tous ses aspects, la minéralogie attirera l'attention publique. Les dictionnaires d'histoire naturelle qui sont devenus très à la mode parce qu'ils renseignent sur

n'importe quel sujet sans imposer de système à leurs nombreux lecteurs, lui font maintenant une large place. Celui de Bertrand (1) traite uniquement des fossiles naturels à la terre, c'est-à-dire des minéraux, des gemmes, des cristaux et les différencie nettement des fossiles accidentels ou restes d'animaux que l'on ne confond plus avec les minéraux. Celui de Valmont de Bomare (2) fait partie des ouvrages que les amateurs consultent à tout propos ; il traite toute l'histoire naturelle mais il laisse une large place à la minéralogie.

Dezallier d'Argenville, publiciste connu, est plutôt vulgarisateur que savant. Son oryctologie (3) claire et instructive est lue par tous ceux qui s'intéressent au développement de la science et ils sont nombreux.

La chimie des terrains, des pierres, des minerais et des cristaux occupe toujours un grand nombre de chercheurs ; les mémoires de l'Académie des Sciences comme des autres périodiques sont souvent consacrés à des analyses de minéraux ou à des essais de reconstitution plus ou moins fructueux ; nous devons laisser de côté la plupart de ces articles qui n intéressent qu'accidentellement l'histoire de la cristallographie.

Les travaux de Guettard (4) méritent pour tous d'être signalés Ses recherches précises de la composition et des formes des stalactites font évanouir les légendes que la ressemblance de ces corps avec certains hommes ou reptiles monstrueux avaient fait naître ; désormais le merveilleux et l'imagination fantaisiste furent éliminés de la science des minéraux et de la science des cristaux ; nous ne les verrons plus renaître.

II. Parmi les savants qui tentèrent de donner une classification générale de tous les produits naturels appartenant

1. 1763.
2. 1764.
3. 1760.
4. A. D. S. 1754, 1757.

au règne minéral, quelques-uns abandonnèrent les renseignements que la chimie encore peu sûre d'elle-même fournissait à la science par ses analyses incomplètes pour ne tenir compte que des caractères extérieurs des pierres, caractères immédiatement accessibles à une investigation rapide et superficielle.

Le célèbre naturaliste Linné (1) avait déjà proposé, mais sans être écouté par ses collègues, que la forme cristalline uniquement, soit prise en considération pour établir les grandes lignes du classement des minéraux ; cette idée l'avait conduit à ranger dans la classe des sels, les substances pierreuses où il avait reconnu des formes analogues à celles du nitre, du sel marin et de l'alun, etc... Il croyait que la cristallographie à elle seule pourrait servir de guide à la chimie qui rencontrerait bientôt une analogie de composition entre tous les cristaux de même figure géométrique ; cette exagération évidente avait mis les savants en défiance. « Il est vraiment fâcheux, dira plus tard Romé de l'Isle, que ce grand homme, auquel l'histoire naturelle a tant d'obligations, n'ait pas vu que la forme cristalline ne suffisait pas à elle seule pour établir le caractère générique ou spécifique des substances du règne minéral, et qu'il ait ainsi prévenu contre ces mêmes formes cristallines, les esprits qui auraient été les plus disposés à les admettre, si l'on n'en eut point fait un pareil abus. »

Il fallut attendre près de vingt ans pour qu'un autre minéralogiste s'avisât de classer les pierres par quelques-uns de leurs caractères sensibles. Cartheuser (2) n'examina que leurs tissus, d'après lesquels, il les classa en pierres lamelleuses, pierres fibreuses, pierres solides et pierres grenues. Une telle méthode ne donne que des résultats arbitraires ; elle est par trop artificielle et ne correspond à rien de réel ; elle ne profite ni à la minéralogie, ni à la

1. 1735.
2. 1755.

cristallographie ; personne ne s'avisat de la perfectionner, de la corriger ou même de la critiquer.

Les naturalistes commencent à sentir qu'une bonne classification des minéraux est nécessaire ! mais ils ne savent laquelle choisir ; ils se guident uniquement sur leurs instincts personnels qui leur indiquent au hasard un caractère principal et des caractères accessoires. Justi (1) s'égarant sur des questions imprécises n'arrive pas à donner un exposé systématique du règne minéral ! Lehmann (2), chimiste de grande notoriété, qui connaît mieux que personne les minerais et les métaux, lance un arrêt de proscription qui atteint à la fois les théories corpusculaires et la cristallographie théorique. « Il n'est point possible, dit-il, de déterminer comment les parties élémentaires des métaux sont combinées les unes avec les autres ; les angles, les cercles, les cubes et les autres figures des mathématiques ne peuvent point nous tirer de cet embarras. Quelque cas que je fásse des mathématiques, je ne puis approuver les entreprises de ceux qui ont voulu les appliquer à la chimie. En effet, comme les éléments des corps sont d'une petitesse et d'une simplicité si grandes, qu'on ne peut point découvrir leurs figures même à l'aide du microscope, comment serait-il possible de déterminer leur figure ou la façon dont elles sont jointes les unes avec les autres ? car ce que l'œil remarque est déjà une portion du corps composé et non des parties simples ; les sels métalliques mêmes, dont on peut très bien distinguer les figures, ne sont jamais purs ils sont chargés d'une portion des particules les plus petites du métal dissout. Quels objets découvre-t-on dans le règne minéral quand on emploie le microscope ? On y voit des substances divisées et atténuées par la trituration du boccard. Peut-on se flatter dans une division et une séparation si grossière des corps de rencontrer précisément le point de contact par lequel les particules élémentaires sont liées par la nature ? La

1. 1757.
2. 1579.

chose est si palpable qu elle n'exige point d'autre démonstration. Platon a raison de dire que Dieu agit suivant les règles de la géométrie, mais nous ne remarquons la vérité de ce principe que dans les parties grossières ; elles nous échappe dans les parties déliées telles que sont celles qui composent le principe des métaux. »

La classification de Lehmann n'a comme base que la chimie et reste assez arbitraire ; le sujet est trop vaste et les caractères des minéraux sont encore trop mal définis pour permettre au naturaliste une description systématique.

Cronstedt (1) ne dédaigne de décrire ni les propriétés physiques, ni la forme cristalline des espèces ; il ne les étudie toutefois que d'une manière empirique, ne songe pas à mesurer les angles dièdres et ne soupçonne pas leur constance ; il note l'aspect d'un minéral comme il note ses caractères chimiques ; les renseignements obtenus par les voies les plus diverses peuvent permettre d'établir une classification rationnelle du règne entier ; celle de Cronstedt distribue les pierres en neuf ordres nettement distincts ; il n'eut cependant pas plus de succès que ces prédécesseurs ; aucune méthode ne s'imposa alors avec autorité. Nous voyons les vulgarisateurs tenter chacun une description systématique des minéraux ; mais ils ne font pas de vraie science ; la minéralogie ne tira aucun profit des essais de Vogel, de Baumer, de Valmont de Bomare et de Buquet (2), qui sous prétexte de simplification, réduisent à quatre le nombre des classes minérales, et réunissent de nouveau les pierres qu'un travail antérieur avait montré différentes ; l'on ne voit pas d'avance à quelle place du livre seront décrits les échantillons auxquels l'on s'intéresse le plus.

Le Dr Hill (3) est plutôt un naturaliste qu'un philosophe ; il se préoccupe surtout de reconnaître les minéraux, et

1. 1753, édition française 1771.
2. 1762-1760. 1762-1771.
3. Londres, 1748-1754-1771.

n'attache pas grande importance aux subtilités de la théorie ; il examine avant toute chose les caractères immédiatement sensibles, la figuration, la dureté, la pesanteur, la surface et la couleur. Il dit aussi le lieu d'origine de chaque pierre, et ses usages principaux ; mais tout cela reste empirique et peu précis. Il ne songe pas, par exemple, à mesurer les angles des corps cristallisés, à comparer leurs formes, à rechercher une constante sous les variations apparentes de ces formes ; s'il s'est familiarisé avec l'aspect des minéraux par de longues observations, sa science n'a pas d'autre but que de fournir le nom de la pierre à examiner. Il n'est pas cristallographe.

12. L'essai de cristallographe publié par Romé de l'Isle (1) n'est pas seulement une œuvre de science ; c'est un ouvrage de mise au point. En même temps que l'auteur donne comme l'avaient fait ses devanciers une classification nouvelle de tous les corps cristallisés appartenant au règne minéral, il veut imposer au public, à ses collègues, à ses concurrents, une méthode d'observation et d'expérimentation plus rigoureuse que celle que l'on employait jusqu'à lui ; il fait l'examen de conscience de la cristallographie ; il critique avec plus ou moins d'âpreté les théories et les affirmations qui se sont succédées dans la science ; il ne dédaigne pas de lutter contre certains publicistes (2), qui reprenant les idées de l'antiquité abandonnées depuis longtemps se sont avisés de prétendre que tous les corps transparents ne sont que de l'eau congelée, ou que les minéraux se reproduisent comme les végétaux par des graines qui se nourrissent dans la terre. Il débarrasse la science des légendes poétiques ou séduisantes que beaucoup se souciaient peu de détruire ; il organise la pensée cristallographique en écartant résolument et avec mépris les opinions de tous ceux qui se contentaient d'hypothèses vagues, ou qui n'examinaient que

1. 1772.
2. Guyton de Morveau, Robinet.

superficiellement la nature ; il demande des expériences précises et contrôlables, des observations exactes, des connaissances générales, et un examen approfondi de chaque question spéciale.

Romé de l'Isle a lui-même mis en pratique sa forte méthode scientifique ; il connaît à fond les travaux de la plupart de ses devanciers ; il les cite, il les discute, il les juge ; puis il a longuement étudié les collections de minéraux ; il a publié un grand nombre de catalogues raisonnés, et les amateurs s'adressent à lui quand il s'agit de mettre quelque ordre dans la grande quantité de pierres remarquables qu'ils se sont plus à amasser ; il manie sa science avec l'aisance que donne une grande habitude et la conscience de sa supériorité ; il a l'érudition et la liberté d'esprit ; il n'est guidé par aucun système ; sa philosophie se réduit à réunir les observations fragmentaires et incomplètes qui sont seules possibles par des lois qui les contiennent toutes, et en font prévoir de nouvelles ; il évite la métaphysique ; il se soucie peu de donner une théorie de la cristallisation et se moque de ceux qui prétendent fournir l'explication mécanique des phénomènes naturels que nous ne pouvons atteindre que dans leur complexité et dans leur ensemble. « Pour expliquer la formation des cristaux, dit-il, nous devons nécessairement supposer que les molécules intégrantes des corps ont chacune, suivant la nature qui leur est propre, une figure constante et déterminée et, que celle de ces molécules qui ont entre elles quelque analogie tendent réciproquement à se rapprocher et à s'unir tantôt par toutes leurs faces indistinctement, tantôt par celles de ces faces qui peuvent avoir entre elles le contact le plus absolu et le plus immédiat ; mais comme les *premiers éléments* des corps nous sont et nous seront probablement toujours inconnus par la petitesse de leurs parties qui échappent aux meilleurs microscopes », nous devons borner notre ambition à déterminer la figure des éléments accessibles à notre observation.

En conséquence il regarde, et ne se paye pas de mots ; sous chaque phrase du discours préliminaire nous entrevoyons le savant maître de son sujet, dominant l'ensemble de la minéralogie par une forte culture scientifique générale, qui ne craint ni les longues méditations stériles en apparence qu'impose le besoin de présenter une classification méthodique, ni les expériences précises qui ne donnent qu'une réponse insuffisante ou partielle aux questions que nous posons à la nature ; il a le courage de ne chercher rien de ce qui dépasserait les hypothèses actuellement vérifiables.

Et pourtant il est séduit par une idée théorique ; il pense que nous pouvons trouver un rapport constant entre la composition des cristaux et leur forme cristalline. « Toutes les fois que la combinaison des mêmes principes élémentaires vient à s'opérer dans des circonstances et des proportions exactement semblables, nous voyons qu'il en résulte des corps de même forme, de même densité, de même dureté, de même saveur. » Il prouve expérimentalement ce qu'il avance ; le mécanicien Carangeot a construit un goniomètre d'application qui permet de mesurer tous les angles des cristaux ; Romé de l'Isle constate que dans une même espèce chimique « les faces d'un cristal peuvent varier dans leur figure, et leurs dimensions relatives ; mais l'inclinaison respective de ces mêmes faces est constante et invariable dans chaque espèce »... « L'invariabilité des angles dièdres » ; voici la première loi que la cristallographie énonce encore aujourd'hui ; plusieurs naturalistes l'avaient déjà pressentie ; mais aucun ne l'avait isolée de toutes les croyances hypothétiques qu'ils plaçaient à la base de la science. Sténon semble l'avoir devinée ; il ne songe pourtant ni à la vérifier, ni à en tirer partie ; c'est une hypothèse qu'il fait en se jouant sans y attacher d'importance... d'autres crurent découvrir une réciproque qui est démentie par les faits ; le père Lana fait remarquer que le nitre, le quartz et la glace ont tous une forme hexagonale ; un même élément chimique ne

leur imposerait-il pas une « coagulation » analogue. Linné, que Romé de l'Isle reconnaît pour son maître, va plus loin ; il pousse la doctrine à l'extrême et prétend hardiement que tous les cristaux de forme semblable ont à peu près la même composition... tout du moins un même sel contribue à fixer leurs formes. Si Cronstedt nie l'influence des sels dans la cristallisation des métaux, Wallérius hésite et ne conclut pas.

Romé de l'Isle, fier d'avoir découvert la constance des angles dièdres, croit avoir trouvé dans « l'invariant » qu'il a fixé, un guide pour diriger la chimie encore écrasée par le nombre de faits découverts, que les lois générales admises n'expliquent que difficilement. Cette science qui se construit lentement par les travaux de Macquer, de Guyton de Morveau, de Lavoisier et de bien d'autres, est encore très peu sûre d elle-même ; les systèmes logiques qui ne naissent pas de l'expérience peuvent encore modifier sa structure ; toutefois la doctrine de Romé de l'Isle est trop absolue ; il est bien près lui-même de la trouver arbitraire ; « on aura peut-être de la peine à se persuader, concède-t-il, que la seule ressemblance de forme suffise pour en rapporter l'origine à un principe commun dans des substances aussi différentes que nous paraissent l'alun, le diamant, le fer et le soufre qui cristallisent en octaèdres, surtout lorsqu'il ne reste plus aucun vestige de ce principe ; car, dira-t-on, si quelque sel est entré dans la composition de ces cristaux pierreux ou métalliques, pourquoi jusqu'à présent tous les efforts des chimistes ont-ils été impuissants pour en extraire le moindre atome salin ? L'existence du principe salin dans tous les cristaux quelconques nous a été démontrée par l'analyse chimique, j'essaierai de l'établir par l'analogie des formes. Cette analogie ne nous conduit-elle pas à soupçonner que le même principe qui détermine les parties du diamant, du fer et du soufre à former un octaèdre régulier occasionne aussi les mêmes figures dans les cristaux de l'alun. La parfaite ressemblance qu'ont entre eux les cristaux de roche et ceux du

tartre vitriolé, les cristaux de borax et ceux de la tourmeline et des schorls ne rend-elle pas cette opinion encore plus vraisemblable ? »

C'est, au contraire, l invraisemblance de ces conclusions hypothétiques qui empêchera beaucoup de naturalistes d'apprécier à leur juste valeur les considérations géométriques qui ont amené Romé de l'Isle à transformer la science des cristaux; cette nouvelle venue qui vient de se dégager à la fois de la minéralogie et de la chimie veut immédiatement leur imposer son empreinte. Le paradoxe de Linné, repris par Romé de l'Isle, à titre plutôt d'espérance que de théorie immédiate, ne se vérifie pas dans l'état actuel de nos connaissances ! Romé de l'Isle voit en lui un aboutissant de nos recherches futures, et non une méthode directrice de nos travaux de laboratoire. La réciproque de la loi de « constance des angles dièdres » étant toutefois démentie par les faits, jette la suspicion sur la loi elle-même, définitivement établie pourtant. Si donc la science des cristaux rencontre de fervents et enthousiastes adeptes par ses parties admirables, de nombreux naturalistes la déclarant arbitraire manifestent ouvertement leur indifférence et leur dédain.

L'analyse que le *Journal de Physique* (1) donne de l'œuvre de Romé de l'Isle représente l'opinion moyenne, ni favorable, ni hostile, en attendant que les événements imposent à la science un jugement définitif !

Monnet tranche nettement la question ; ne va-t-il pas jusqu'à déclarer dans son *nouveau système de minéralogie* (2) que l'étude de la forme des cristaux ne sera jamais l'objet d'une science ; « que le but de la cristallographie est abusif.., que la nature ne s'assujettit à aucune règle ; que sa règle est de n'en avoir aucune ; qu'elle varie la forme des minéraux selon les contrées où elle les produit sans avoir égard à leur nature ou à leur composition. »

1. 1772.
2. 1779.

Quel rapport, demande-t-il, pourrions-nous observer entre le cristal de roche et le nitre qui cristallisent tous deux en héxagones, et qui ne sont pas formés des mêmes éléments chimiques?

Buffon va opposer à la cristallographie quelques arguments spécieux d'une logique irréfutable, et le poids de sa grande autorité scientifique ; il nie jusqu'à la possibilité de la science des cristaux.

« Les caractères, dit-il (1), que l'on voudrait tirer des formes de la cristallisation, sont en effet si équivoques, si fautifs que nous devons nous en tenir à ceux de la densité, de la dureté, de l'homogénéité, de la fusibilité et de la combustibilité, qui non seulement sont les vrais caractères, mais même les propriétés essentielles de toute substance, sans négliger néanmoins les qualités accidentelles comme celles de se cristalliser plus ordinairement sous telle ou telle forme, s'imbiber de lumière, de prendre ou d'acquérir la couleur par l'action du feu. »

La forme de la cristallisation, sans être absolument négligeable, n'est donc qu'une propriété secondaire et peu importante ; ceux qui la prennent pour seul guide n'ont qu'une connaissance imparfaite de sa signification et de ses causes.

« Ils ont prétendu, par exemple, que la cristallisation en rhombes était le caractère spécifique du spath calcaire, sans faire attention que certaines matières vitreuses ou métalliques et sans mélange de substances calcaires sont cristallisées de même en rhombes, et que d'ailleurs, quoique le spath calcaire semble affecter de préférence la figure rhomboïdale, il prend aussi des formes très différentes, et nos cristallographes, en voulant emprunter des géomètres la manière dont un rhombe peut devenir un octaèdre ou même une lentille (parce qu'il se trouve du spath lenticulaire), n'ont fait que substituer des combinaisons idéales aux faits réels de la nature ; il en est de

1. *Les minéraux*, vol. I.

cette cristallisation en rhombes comme de toutes les autres ; aucune ne sera jamais un caractère spécifique parce que toutes varient pour ainsi dire à l'infini, et que non seulement il n'y a guère de formes de cristallisation qui ne soient communes à plusieurs substances de natures différentes, mais que réciproquement il y a peu de substances de même nature qui n'offrent différentes formes de cristallisation : témoin la prodigieuse variété de forme de spaths calcaires eux-mêmes, en sorte qu'il serait plus que précaire d'établir des différences ou des ressemblances réelles et essentielles par ce caractère variable et presque accidentel. »

Ce dédain pour la science des cristaux a peut-être des raisons expérimentales ; il fallait être audacieux, en l'absence de toute théorie géométrique définitive, pour prétendre comme Romé de l'Isle que les figurations variées d'un même corps se ramènent les unes aux autres, et peuvent se déduire les unes des autres. Ce sont des conclusions qui semblent dépasser étrangement les observations actuelles. Nous pouvons les croire erronées... mais ne nous y trompons pas ; l'attitude hostile de Buffon à l'égard de la cristallographie est une conséquence directe de ces vues générales sur la formation de la matière. Il s'intéresse à la cristallisation du spath, ou du quartz, comme à un phénomène dynamique dont il faut connaître les différentes phases. La morphologie est peu digne d'être étudiée pour elle-même ; si elle jette un jour cependant sur l'histoire de la formation des cristaux, elle vaut la peine pourtant d'être prise en considération ?

Comment ont donc pris naissance les calcaires cristallisés, que nous trouvons en si grand nombre ? Observons tout d'abord qu'ils ont presque toujours une double ou multiple réfraction particulièrement remarquable (1). Les

1. Sous le titre « Une théorie curieuse de la double réfraction chez Buffon » j'ai essayé de montrer comment ce savant expliquait chimiquement les propriétés optiques des cristaux (*Bulletin de la société minéralogique*, juin 1914).

rayons lumineux, cela est plus curieux encore, sont déviés plus ou moins selon la direction suivant laquelle ils traversent le cristal. Beccaria, qui a fourni de ces faits une étude très approfondie, en a conclu que les cristaux sont formés de lames superposées présentant à la lumière des discontinuités sensibles. Buffon, qui se souvient de Bourguet, se contente d'établir une théorie lamellaire des cristallisations rendant compte des phénomènes optiques.

Les cristaux ne sont pas homogènes, ils sont formés par une superposition de couches plus ou moins déliées, plus ou moins denses, ayant chacune sa réfraction ; les rayons lumineux s'écartent donc, et cela d'autant plus qu'il existe plus de différences entre les lames successives ! Mais si le cristal est constitué par plusieurs matières chimiques différentes, il ne s'est pas formé en une fois ; le spath calcaire, par exemple, est dû à la « stillation de l'eau » qui dépose peu à peu la pierre qu'elle contenait en dissolution ; il se forme, cela est évident, des dépôts variés et successifs. Dans ces conditions nous comprenons que la forme du cristal produit ne puisse pas être constante ; sa composition n'étant pas fixe, le milieu cristallogène étant lui-même variable, le résultat ne saurait s'exprimer par une loi simple.

Tels sont les motifs logiques de l'opposition de Buffon. L'indignation de Romé de l'Isle, qui voit contredire ses travaux, va être poussée à son comble ! « La partie brillante du Pline français, dit-il, n'est pas la minéralogie. » Que peut-on répondre à Buffon, qui dix ans après l'apparition de l'essai de cristallographie ose encore nier non seulement la science des cristaux, mais même sa possibilité théorique ? Rien évidemment. La vérité ignorant les sarcasmes et la contradiction finit toujours par s'imposer. Aussi le soin de réfuter les arguments judicieux, mais sans portée de Buffon, est-il laissé à l'œuvre de Romé de l'Isle elle-même ! Inutile de perdre son temps à discuter une question que l'observation seule doit résoudre ; chacun publie son œuvre et le public prendra partie pour qui

il voudra ; ce sera lui seul qui en définitive décidera pour l'un ou pour l'autre.

13. Pendant que ces discussions se poursuivent autour d'un principe, pendant que les savants se voient obligés de prendre un parti, favorable ou opposé à l'égalité des angles dièdres, les minéralogistes s'efforcent de faire progresser leur science, dans toutes les directions à la fois. De Lassone (1) observe patiemment les grès cristallisés de Fontainebleau ; il essaye de préciser leur composition chimique, leur forme, et les rapports entre la composition chimique et la forme cristalline ; « il a remarqué que les cristaux naissent au milieu d'un sable très fin, sans qu'ils aient contracté aucune adhérence avec le grain de ce sable. » Sans faire de méthodologie, sans étaler de théorie, de Lassone a compris qu'il était impossible d'établir les lois de la cristallisation sans se préoccuper des conditions de la cristallisation ; et avant de décrire les pierres qu'il étudie, il juge nécessaire de donner une idée du terrain dans lequel il les a trouvés.

« Maintenant examinons de plus près les cristaux de grès, nous remarquons que la cristallisation commence toujours par la forme rhomboïdale ; mais il est assez rare que cette forme se conserve bien régulièrement. Parmi les échantillons entièrement isolés que j'ai recueillis, il s'est trouvé quelques rhombes d'une perfection surprenante ; l'art aurait de la peine à rien faire de plus exact. Dans les autres qui le sont moins, on observe que deux, trois et quelquefois quatre rhombes se sont pour ainsi dire pénétrés et confondus et que plusieurs autres ont commencé à s'y réunir. En général la plupart de ces derniers cristaux, dont je parle, offrent dans leurs formes respectives ou dans l'aggrégation des rhombes qui les composent, une sorte de similitude frappante, ou d'arrangement semblable que l'œil aperçoit distinctement mais qu'il est difficile de bien décrire. »

1. A. D. S. 1774-1777.

Voici pour les caractères extérieurs. Quant à la composition chimique de ces cristaux, une analyse facile nous montrera qu'ils sont formés moitié de grès, moitié de spath calcaire ; quel est le rôle de chacun des principes constituants ? Il est probable, pense de Lassone, que les deux matières mélangées ont la même importance par rapport au tout, et que c'est uniquement leur rencontre qui a formé ces échantillons admirables que nous découvrons dans les sables.

Ce que l'un fait pour le grès cristallisé, d'autres le font pour toutes sortes de pierres. Il est inutile d'énumérer les monographies ne visant pas plus loin que la description d'une espèce isolée et dont la plupart ne profitent guère à la cristallographie ; quelques-unes pourtant sont remarquables. Le Dr Hill (1) a étudié les spaths calcaires, qu'il essaye de classer à nouveau, selon leurs formes et leurs propriétés. Kern (2) a observé avec attention les figurations de la seule topaze de Saxe. Dutens (3) a utilisé les recherches de Romé de l'Isle et s'attache tout spécialement à décrire les formes cristallographiques de la plupart des pierres précieuses. Pini (4) publie ses recherches sur des cristallisations de Feld spath aux environs de Baveno dont la forme est encore inconnue. Hauy (5) lui-même, avant de fournir une nouvelle théorie sur la structure des cristaux, a mesuré les angles des grenats, des spaths et de beaucoup de pierres cristallisées. Les articles de minéralogie descriptive se multiplient dans le journal de physique ; si beaucoup d'entre eux n'ont pas joué de rôle dans l'évolution historique de la science, ils témoignent pourtant de la vogue qu'elle pouvait avoir ; il est vrai qu'une partie de l'activité des minéralogistes s'épuisera en recherches chimiques, analyses ou essais de synthèse ;

1. Londres, 1771. J. P. 1774.
2. 1776.
3. 1776.
4, 1779.
5. Articles dans le J. P. et A. D. S.

Achard (1) aura pour but d'arriver à reconstituer par des travaux de laboratoire un grand nombre de pierres remarquables. Bergmann (2) qui a pourtant étudié de près la structure et la formation des corps cristallisés, qui a observé patiemment les clivages du spath d'Islande, qui a signalé le premier l'existence d'un polyèdre primitif limité par ce clivage (3), Bergmann refuse de faire de la forme cristalline un caractère spécifique des minéraux; il ne la considère que comme une résultante des conditions dans lesquelles les différentes pierres prennent naissance et croit qu'elle pourra nous renseigner sur l'histoire de leur formation. Sage (4) ne nie pas l'importance de la cristallographie, il le témoigne à l'occasion ; mais il prétend que la minéralogie chimique se passe de tout secours étranger. Allons-nous voir quelques naturalistes refuser de prendre la science des cristaux en considération ; celle-ci par tous les moyens s'impose à l'attention publique.

Demeste (5), le disciple de Romé de l'Isle, tente de concilier encore les diverses parties de la science, en distinguant d'une manière catégorique les cristaux salins, les cristaux pierreux, les cristaux sulfureux et les cristaux métalliques. Mais cette classification n'est qu'une façade qui cache l'indépendance absolue de la cristallographie ; pour en assurer l'unité, il prétend à nouveau qu'un principe salin, qu'il n'essaie pas de spécifier, est nécessaire pour déterminer la forme cristalline des différents minéraux, et qu'un jour, l'analyse plus précise mettra le même sel en évidence dans tous les cristaux de même forme ; quoi qu'il en soit de cette opinion, une longue étude où toutes les variations de cristallisation du spath calcaire sont ramenées géométriquement à ne représenter que des troncatures du rhomboèdre primitif, montre du moins que les modi-

1. J. P. 1778.
2. *Sciagraphie*, 1792.
3. *Opuscules*, 1780.
4. *Minéralogie*, 1772.
5. 1779.

fications de la forme d'une même espèce n'empêchent pas cette forme cristalline d'être un caractère spécifique.

14. Werner (1), tout à fait indépendamment de Romé de l'Isle, publie son traité des *Caractères extérieurs des fosiles.* Le titre seul de l'ouvrage indique le programme de l'auteur qui dédaigne pour des raisons expérimentales les caractères intérieurs ou chimiques, que l'on ne peut connaître qu'après une longue et minutieuse analyse détériorant les échantillons observés, et ne donnant pas dans l'état actuel de la science des renseignements suffisamment précis pour définir complètement un corps. De même, il est impossible, sauf pour quelques cas rares, comme celui des minerais de fer attirés par l'aimant, de reconnaître un minéral par la manière dont il se comporte avec les autres corps qu'on lui présente ; nous ne devons considérer ces particularités physiques que comme des indications utiles non susceptibles de généralisation. Les caractères empyriques que les connaisseurs tirent de la manière dont les cristaux se présentent, du milieu dans lequel on les ramassent, s'ils peuvent permettre de faire des conjectures et d'éliminer un grand nombre d'hypothèses, ne permettent pas de connaître un corps par ses propriétés essentielles !

Le savant préférera donc les caractères extérieurs qui se présentent dans toutes les espèces de fossiles et dans tous les individus ; qui indiquent certainement les différences essentielles des différentes espèces ; qui peuvent être connus et exactement déterminés ; dont la recherche facile n'exige pas beaucoup de temps ; et enfin que l'on peut découvrir sans décomposer les fossilles.

Parmi ces caractères extérieurs nous devons distinguer d'abord ceux qui frappent la vue, ensuite ceux que l'on observe par le toucher, enfin ceux que l'on ne découvre que par l'ouïe ; les premiers sont les plus importants ; les autres ne servent que de contrôle, ou de vérification.

1. 1773.

Ainsi dans chaque pièce séparée, Werner nous apprendra à observer, la couleur, la cohésion, la figure extérieure ou forme cristalline, la surface extérieure, l'éclat extérieur, l'éclat intérieur, la cassure, la figure des fragments, la transparence, la tachure, la râclure, la dureté, la solidité, la flexibilité, le happement à la langue, le son rendu par un choc, et éventuellement la saveur et l'odeur. Les caractères visuels que l'auteur traite avec plus de détails n'ont pas tous la même importance ; l'éclat par exemple, se définit difficilement ; il s'apprécie après une longue habitude, mais ne peut ni se mesurer, ni se répérer avec des instruments de physique. La couleur a plus d'importance et apparaît immédiatement au regard le moins averti ; elle n'est pourtant pas dans la plupart des cas caractéristiques d'une pierre donnée. La dureté est une qualité plus précise ; nous distinguerons les pierres rayées ou non rayées par l'acier ; rayées par l'acier mais non par l'ongle ; rayées par l'acier et par l'ongle.

Arrivons à la forme extérieure. « La figure régulière où la cristallisation est le pourtour naturel d'un fossille solide qui résulte de l'assemblage d'un nombre déterminé de côtés et d'une forme déterminée ; l'on a jusqu'à présent, ajoute Werner, traité fort négligemment la détermination des cristaux ; on s'est contenté pour la plupart de les indiquer par le nombre de leurs côtés et de leurs angles ; plusieurs mêmes, dont il paraissait difficile de compter les côtés, sont simplement nommés polyèdres, de sorte que cela pouvait s'appliquer à telle figure que l'on jugeait à propos. Mais les cristallisations ne se distinguent pas seulement de toutes les figures extérieures par leur extrême régularité ; elles exigent encore une détermination exacte par rapport à leurs grandes différences ; il est donc absolument indispensable d'y apporter plus d'attention. »

Ceci posé nous aurons à déterminer, dans les cristallisations, en particulier leur grandeur, leur figure et leur assemblage. La figure est la plus importante de ces

choses ; elle est essentielle, alors que la grandeur et l'assemblage sont extrêmement variables et dépendent des hasards de la formation des cristaux...Nous distinguerons, pour pouvoir étudier géométriquement les formes extérieures complexes qui peuvent se rattacher à des formes simples, la figure principale ou primitive et les altérations de ces mêmes figures.

Ces formes primitives et simples tels que le cube, le dodécaèdre, ou le prisme sont caractéristiques, le plus souvent, d'une espèce minérale donnée ; les troncatures qui les altèrent dépendent probablement d'une cause physique actuellement indéterminée ; la galène, par exemple, cristallise le plus souvent en cubes, mais parfois en tétraèdre. « Il me paraît, dit Werner d'après ses observations personnelles, que le plus ou le moins d'argent contenu dans la galène est la cause de la différence de ces cristallisations ; de sorte que la galène est tétraèdre quand elle contient plus d'argent, et cubique quand elle en tient moins. »

Si Werner se sert de la géométrie pour établir son système cristallographique, il n'énonce pas de loi précise et générale sur la régularité des formes cristallines ; s'il soupçonne et s'il affirme leur constance, il se contente pourtant des données sensibles sans chercher à vérifier ses affirmations *a priori* par un instrument de mesure ; il ne fait pas mention de l'invariabilité des angles dièdres, pierre de touche, semble-t-il, de la nouvelle cristallographie ; il dédaigne la discussion et la polémique ; il expose la science et ne cherche aucunement à prouver la vérité de ce qu'il avance ; il ne défend pas son livre contre les rivaux hostiles ou mal intentionnés. Son œuvre s'adresse au public qu'elle vise à instruire, lui présente une méthode de la détermination des fossilles ayant beaucoup de ressemblance avec celle que les botanistes publient sous le nom de flore pour permettre aux amateurs de faire un herbier ; et puis la théorie est à la fois la préface et le résumé de l'expérience ; elle se justifie puis-

qu'elle guide l'observateur et lui permet de reconnaître rapidement les minéraux les plus divers.

Werner est un mineur qui ne pense qu'à la pratique de son art ; il ne fait d'hypothèses ni sur la genèse des cristaux, ni sur leur structure, ni sur les raisons physiques de la constance des formes qu'il a si bien observées ; il se soucie peu des rapports entre cette forme et la composition des corps ; son œuvre est uniquement destinée à la minéralogie ; il ne donne que des oxemples empruntés à cette science, et les travaux de laboratoire sur les sels ou les métaux cristallisés ne sont jamais invoqués. S'il fait comprendre définitivement que la cristallographie est possible, et qu'elle existera bientôt, il n'en fournit encore ni la méthode ni les lois ; quelques années passeront encore avant qu'elle prenne conscience d'elle-même, et qu'elle présente la forme mathématique qu'elle a conservé depuis.

Nous venons de voir les minéralogistes se diviser en deux groupes distincts, pour l'exposé même de leur science ; le premier — dont nous n'avons pas à approfondir la doctrine — est composé de chimistes qui prétendent voir dans l'analyse et la synthèse la base de la classification et de la reconnaissance des pierres et des minerais ; ils n'attachent donc que peu d'importance aux caractères extérieurs qui immédiatement frappent les sens. L'autre groupe, formé plutôt de descripteurs que de physiciens, dédaigne les longs travaux de laboratoire et prétend pouvoir se passer de la chimie et de son art pour connaître toutes les particularités d'une espèce minérale quelconque. Il suffira de regarder attentivement un échantillon donné, d'examiner quelques propriétés faciles à observer pour être capable de le nommer sans aucune hésitation.

Tous ces savants ont appris à faire abstraction d'un grand nombre de qualités du même minéral en portant leur attention sur le caractère qu'ils considèrent comme essentiel ; si leur méthode nous semble un peu artificielle,

elle a du moins pu dissocier la complexité de la nature en un grand nombre d'aperçus simples, accessibles aux observateurs. Un siècle plus tôt, comme Sténon, ils auraient fait intervenir toute la science, et toute la philosophie, pour expliquer la composition, l'aspect physique, la structure et la forme des cristaux de roche par exemple ; puis pour complèter leur description, ils auraient cherché le rapport entre le quartz et les roches dans lesquels il se trouve enclavé ; la mécanique générale aurait deviné toutes les particularités de la formation de chacune des pierres et n'aurait laissé dans l'ombre aucun détail remarqué. Cinquante ans plus tôt, comme Bourguet, ils auraient cru que la cristallisation du quartz est due à l'attraction mutuelle de petites lames triangulaires, se trouvant en excès, dans un fluide sursaturé qui ne peut plus les porter ; sans s'attarder à contempler les particularités d'une pièce isolée, ils auraient saisi l'ensemble de la formation des cristaux dans sa généralité physique. La cristallographie nouvelle, en devenant plus précise, est devenue aussi plus modeste ; les minéralogistes qui l'ont créé, Romé de l'Isle et Werner par exemple, cherchent à reconnaître les espèces et ne prétendent pas expliquer leur cristallogénie théorique ; ils ne font aucune hypothèse et se contentent de regarder ; les problèmes qu'ils posent n'ont plus trait à la généralité de leur science ; l'observation minutieuse et patiente est capable de les résoudre ; il est vrai aussi qu'ils seront moins passionnants pour les philosophes ; les collectionneurs, toutefois, qui ont des cabinets d'histoire naturelle, trouveront dans les nouvelles conceptions une justification et un encouragement.

13. L'œuvre d'Hauy, dont la cristallographie d'aujourd'hui conserve encore les grandes lignes, est une des manifestations les plus nettes, de la victoire de l'esprit précis, géométrique, abstrait et observateur, dont nous avons signalé les progrès, au dépend de la philosophie explicative sous quelque forme qu'elle se présente.

La science des cristaux va être maintenant dégagée de tous les problèmes annexes qui concourraient à en obscurcir les données ; elle se présentera pour longtemps, dans sa partie théorique du moins, comme l'expression mathématique des formes cristallines des solides naturels symétriques limités par des faces planes.

L'essai d'une théorie sur la structure des cristaux (1) ne contient pas encore l'exposé définitif de la pensée d'Hauy ; la cristallographie géométrique n'y est présentée que d'une manière fragmentaire et incomplète ; elle est pourtant ébauchée, de telle manière que nous saisissons facilement comment elle se dessinera et prendra peu à peu du relief.

L'auteur domine son sujet ; il nous précise immédiatement quel est l'objet de ses recherches ; deux buts, dit-il, ont jusqu'à présent tenté les cristallographes ; quelques-uns voulurent simplement tirer de la forme des minéraux, les caractères distinctifs qui permettent de les reconnaître ; ce projet est, dit-il, irréalisable. « La cristallographie ne sera jamais la base d'une distribution méthodique des minéraux » ; non seulement parce que la diversité des formes dont une même espèce est susceptible offre un grand obstacle à vaincre, « mais surtout à cause de la ressemblance de forme que présentent les formes de substances très éloignées les unes des autres par leur nature ». Ainsi ce qui formait encore pour Romé de l'Isle une des hypothèses les plus vraisemblables de la science, cette analogie de composition que l'analyse perfectionnée allait mettre en évidence dans tous les corps à formes cristallines semblables, est désormais rejetée sans discussion aucune parmi les erreurs anciennes qui ont pendant si longtemps fait dévier la chimie hors du monde réel.

La cristallographie qu'Hauy veut contribuer à former est à la fois moins ambitieuse et plus savante ; il se propose, — et c'est le second but qu'ont visé les minéralogistes,

1. 1783.

— « de comparer les formes cristallines, les unes aux autres, d'en saisir les rapports et les différences, et même d'expliquer s'il se peut le mécanisme interne de leur structure ».

Le problème qu'il cherche à élucider, ne compte pas parmi ceux que la réflexion seule peut résoudre ; il ne suffit ni de savoir penser clairement, ni d'avoir observé rapidement quelques cristallisations, pour que la solution se présente toute faite à l'esprit ; il faut regarder de près, étudier longuement chaque espèce, mesurer avec précision les angles de chaque cristal, essayer d'entrevoir par la connaissance approfondie de ses particularités quel est l'arrangement de ses molécules invisibles, avant de se risquer à construire même l'esquisse de la théorie des cristallisations. Ce long travail préliminaire n'a point rebuté Hauy qui depuis quelques années publie dans divers périodiques le résultat de ces recherches. Aussi est-ce la convergence des résultats obtenus sur les spaths calcaires, les spaths pesants, les spaths fluors, les gypses, les grenats et les topazes, qui l'a fait entrer dans la voie féconde où il vient de s'engager.

Il n'est pas le premier à signaler le clivage rhomboédrique du spath d'Islande ; Gahn l'avait observé avec quelque stupeur et Bergmann en avait conclu que les corps cristallisés sont formés par la superposition de lamelles infiniment minces qui peuvent se séparer parallèlement à leur surface de contact. Hauy raisonne autrement ; il isole le petit solide du plus grand dont il est extrait ; il le considère comme la « forme primitive » du spath, puisque quelque que soient leurs formes les brisures de tous ces cristaux sont les mêmes ; il prétend que les petits rhomboèdres s'empilent pour en former un grand de même aspect qu'eux... Exposée sous cette forme simplifiée la théorie ne semble pas absolument nouvelle ; les savants avaient depuis longtemps pensé qu'un cube de sel marin était un édifice composé d'une infinité de petits cubes géométriquement semblables à celui produit par leur

accumulation ; mais la science n'avait point dépassé ce simple aperçu. Hauy déclare formellement qu'il n'a pas inventé sa doctrine ; le seul rôle qu'il a pu jouer, consiste à préciser, à généraliser et à vérifier les notions réelles qu'il a trouvées à l'état d'hypothèses, souvent répétées, par ceux qui ont cherché à deviner la structure des cristaux salins.

Un minéral dont les propriétés physiques sont spécifiées, peut présenter, malgré la constance de ses clivages, d'autres formes que la forme primitive ; ceci l'amène à penser que « deux choses sont à considérer pour le naturaliste dans un cristal ».

« 1° La figure de ses molécules constituantes ;

« 2° L'arrangement qu'elles gardent entre elles. »

La figure des molécules constituantes d'un même minéral est fixe et intangible ; elle nous est dévoilée par les sections de clivage « divisions naturelles sans brisures » auxquelles se prêtent la plupart des cristaux. Cette figure, cubique dans le sel marin, octaèdrique dans la fluorine, prismatique dans la topaze est semblable à la forme primitive.

Les particules s'assemblent régulièrement par rangées, et si leur nombre est constant dans toutes les directions autour du même noyau, le cristal formé est doué de la forme primitive. Si au contraire la forme du cristal diffère de celles des molécules, c'est qu'elle peut se « modifier de différentes manières suivant les différents changements que des circonstances particulières apportent à la loi essentielle de la cristallisation ». Ce sont ces circonstances, qu'Hauy évite d'examiner, qui font que le nombre des molécules d'une même rangée subit parfois des décroissements sur les bords ; c'est ainsi que certains cubes peuvent passer au dodécaèdre par des décroissements sur les arrêtes ; que d'autres cubes peuvent passer à l'octaèdre par le décroissement sur les angles, etc., etc.

Cette géométrie nous apprend qu'un cristal est susceptible d'autant de formes différentes que les angles ou les

arêtes peuvent « subir de décroissements de manière que les côtés ou les pointes des petites molécules qui termineront ces cristaux soient de niveau ; on conçoit donc comment le nombre des formes secondaires est nécessairement limité quoiqu'en se permettant de mutiler à volonté un cristal, sans aucun égard à sa structure, on puisse concevoir pour une même sorte de substances une infinité de formes diverses ».

Nous entrevoyons désormais quelle sera l'orientation des futurs travaux d'Hauy,— recherches géométriques des formes possibles d'un cristal dont la forme primitive est définie, — recherches réelles sur les formes d'un minéral cristallisé pour connaître sa forme primitive ; la cristallographie va entrer dans une phase mathématique et deviendra une science absolument formelle. Mais elle ne se présentera dans toute sa pureté théorique, elle ne se libérera complètement de la physique et de la minéralogie, qu'en négligeant les phénomènes de la cristallogénie pour ne considérer que la morphologie des cristaux. La lente formation d'un minéral polyédrique au sein de la terre, les conditions de milieu dans lequel ce corps prend naissance, seront absolument laissées dans l'ombre.

Romé de l'Isle, dans une nouvelle édition considérablement augmentée de sa cristallographie, ne cache pas son dédain des cristalloclastes ou brise cristaux, qui ont besoin de faire appel à une structure hypothétique pour distinguer les formes principales des cristaux de leurs troncatures ; pas plus qu'Hauy toutefois, il ne fera allusion au problème même de la cristallisation ; il juge bon de publier un opuscule sur les « caractères extérieurs des minéraux » (1) dans lequel il précisera l'attitude que doit prendre la cristallographie refusant obstinément de dépasser l'expérience et l'observation. « Existe-t-il dans les substances du règne minéral des caractères qu'on puisse regarder comme spécifiques ? et au cas qu'il en existe, quels

1. 1784.

sont ces caractères ? Parmi les multiples propriétés que nos sens nous font remarquer, pouvons-nous en découvrir quelques-unes en petit nombre qui nous permettront, à coup sûr, de déterminer l'espèce à laquelle les minéraux appartiennent ; et d'abord une même espèce sera chimiquement homogène ou ne pourra être définie ?

« Les corps homogènes de la même espèce seront ceux *qui admettront dans leur composition non seulement les mêmes principes constituants, mais encore une quantité déterminée de ces mêmes principes* d'où résulte : 1° une forme cristalline particulière avec certains angles déterminés, constamment les mêmes dans chaque espèce ; 2° une pesanteur ou gravité spécifique proportionnée au nombre et à la nature des principes qui sont entrés dans le composé ; 3° une dureté également proportionnelle à l'intimité du contact et à l'affinité plus ou moins grande qu'ont entre elles les molécules intégrantes de ce composé. »

Ces trois qualités de forme, de dureté et de densité suffisent-elles vraiment à définir les minéraux? Une objection peut être formulée relativement aux caractères de la cristallisation. « C'est, dit-on, qu'ils ne sont pas exclusifs ; la même forme cristalline par exemple pouvant appartenir à des substances très différentes entre elles, tandis que cette forme varie presque à l'infini dans celles qui résultent des mêmes principes constituants, et qui conséquemment sont de la même espèce. » En réponse à cet argument d'Hauy, Romé de l'Isle abandonne définitivement la théorie chimique de la forme cristalline ; celle-ci décidément n'est pas suffisante à elle seule pour caractériser absolument une matière ; ni elle, ni la dureté, ni la densité prises isolément ne sont des caractères spécifiques ; la réunion des trois, au contraire, donne des résultats absolument sûrs. « *Il n'existe point dans la nature deux substances intrinsèquemment différentes, qui aient en même temps la même forme cristalline, la même pesanteur et la même dureté spécifiques*: »

Il suffit d'une seule mesure pour connaître la dureté et la densité ; au contraire la forme cristalline que l'on ne peut observer dans les échantillons cassés, est encore sujette à des variations apparentes. Cronstedt, Bergmann, Buffon et Kirwan ont refusé de la prendre en considération ; « mais que diraient ces physiciens, si on leur montrait que dans toutes les formes à facettes planes déterminées, de l'alun, du tartre vitriolé, du spath calcaire, etc., on retrouve absolument *les mêmes angles, la même inclinaison respectives des faces entre elles, que dans le cristal le plus simple et le plus régulier de la même espèce* ».

Et pourtant cette démonstration est si simple que chacun peut la faire sans difficulté. Il suffit d'avoir manié le goniomètre pour être obligé de convenir que cette constance admirable des angles, loin d'être altérée par les troncatures ou nouvelles faces qui souvent se rencontrent soit aux arrêtes soit aux angles solides du cristal primitif détermine au contraire tous les nouveaux angles résultants de ces troncatures, puisque ces nouveaux angles que j'appelle secondaires sont une suite respective des faces du cristal primitif, de manière qu'il est vrai de dire qu'au milieu des modifications sans nombre que présente la forme cristalline, elle est unique dans chaque espèce, de même qu'il n'y a dans chaque espèce qu'une seule saveur, une seule dureté, une seule densité.

Les propriétés chimiques des minéraux sont difficiles à connaître ; malgré les travaux d'un grand nombre de savants, l'analyse du quartz par exemple n'a jamais pu être confirmée par une synthèse vérificatrice, et il en est de même d'autres pierres cristallisées : « il vaut mieux convenir de bonne foi que nous ignorons encore les vrais principes constituants de plusieurs corps pierreux, métalliques, etc. » ; si donc l'analyse chimique est l'auxiliaire précieux du naturaliste, elle n'est qu'un guide insuffisant... les formes, les densités et les durctés au contraire pourront le mettre sur la voie d'une classification nouvelle.

---

16. La cristallographie poursuivit normalement ses progrès pendant les années qui suivirent. Le *Journal de Physique* contient, outre de nombreuses descriptions de minéraux, quelques articles d'Hauy dont la théorie devient de plus en plus nette à mesure qu'elle est confirmée par les faits. Un des principaux rédacteurs de ce périodique, Jean-Claude de Lamétherie, s'il n'a rien ajouté à la science que la postérité ait reconnu comme réel, va du moins nous montrer quelle importance les philosophes peuvent attacher à des phénomènes récemment étudiés et encore mal connus comme celui de la cristallisation ; n'a-t-il pas prétendu que l'existence des plantes et des animaux est à la matière vivante ce que la cristallisation elle-même est à la matière brute ! N'affirme-t-il pas maintenant que la cristallisation est un phénomène universel et même que c'est le seul phénomène universel ; que la forme constante des êtres organisés lui est due, aussi bien que la régularité des minéraux ; que la cristallisation des grands globes doit être la même que celle des éléments et que toute chose peut se rapporter à elle... « La terre elle-même, comme les minéraux qui la recouvrent, est formée d'un fluide qui s'est cristallisé en se refroidissant » ; aussi « la cristallisation doit être regardée comme le principe fondamental des plus grands phénomènes de la nature ».

Un homme qui a découvert une loi aussi générale essaye d'en montrer les applications particulières pour attirer l'attention. La cristallographie provenait surtout à cette époque de l'étude morphologique des minéraux. Lamétherie s'intéresse particulièrement aux substances minérales. Il se propose comme la plupart des naturalistes de connaître l'ensemble de leurs propriétés physiques et chimiques ; leur composition d'abord dans toute sa complexité qualitative et quantitative, leur solubilité dans l'eau, le feu et différents fluides, leur pesanteur spécifique qui ne varie pas quand les corps examinés sont homogènes, leur phosphorescence qui caractérise certaines espèces, leur transparence et leur réfraction qui est double dans beaucoup

de minéraux, leur magnétisme qui est spécial aux minerais de fer, leur électrisation plus ou moins intense par la chaleur ou le frottement, leur dureté qui n'a pas encore été examinée avec suffisamment de soin, et que l'on pourrait repérer en la comparant avec la dureté d'autres corps pris comme étalons arbitraires, la figure enfin qui est le caractère le plus remarquable des pierres cristallisées et que l'on a longtemps négligé d'examiner. Lamétherie n'a pas la patience d'interroger la nature pour observer par lui-même quelles sont les particularités des angles et la structure d'un cristal donné.

Il se contente de rappeler les résultats obtenus par ses devanciers, — les cristaux sont-ils formés de lames comme Bourguet, Buffon et Bergmann l'ont prétendu ? ou de solides superposés qui peuvent présenter des décroissements sur les bords, suivant la théorie d'Haüy ?

« Je pense (1), dit Lamétherie sans justifier son opinion par aucun argument, que les cristaux sont formés de lames ; ces lames me paraissent se réduire à trois formes principales qui donnent tous les solides possibles, la triangulaire, la rectangulaire, la rhomboïdale ; si ces lames sont empilées les unes sur les autres règulièrement, nous aurons des prismes droits, triangulaires, rectangulaires ou rhomboïdaux ; si ces lames sont superposées avec un avancement ou une retraite, nous aurons des prismes obliques, triangulaires, rectangulaires ou rhomboïdaux ; si ces lames superposées sur un plan d'assez grande surface éprouvent une retraite ou un avancement plus ou moins considérable, ces prismes seront transformés en pyramides plus ou moins aiguës. »

La théorie sera réduite à ce minimum de géométrie ; en effet, les parties constituantes d'un même minéral ne peuvent avoir exactement la même figure dans des cristaux de formes différentes : la composition des spaths calcaires qui présentent tant de différents aspects ne saurait être

1. 1792.

constante ; la quantité d'acide aérien varie probablement d'un échantillon à l'autre, aussi est-ce par erreur que l'on s'est imaginé que les lames rhomboïdales retirées des cristaux de spath étaient toutes semblables entre elles : « *cela ne peut être ;* il faut nécessairement que ces lames rhomboïdales différent soit dans leurs angles, soit dans leur épaisseur, largeur ou longueur, car autrement il n'y aurait pas de raison pour laquelle elle n'affecteraient pas constamment la même cristallisation ». Seulement les différences que présentent ces lames sont trop petites pour être sensibles.

Ainsi malgré les travaux de Romé de l'Isle et d'Haüy qui ont définitivement établi la loi de constance des angles dièdres et les rapports précis entre les différentes formes cristallines d'un même minéral, quelques savants, guidés par des conceptions *a priori*, récusent l'expérience actuellement impuissante à mettre leurs théories en évidence et construisent indépendamment d'elle un système du monde qui la dépasse.

L'observation qui ne récompense les longs et fastidieux efforts que par des résultats médiocres de peu d'envergure, les calculs difficiles qui ne donnent de renseignements précis qu'au sujet d'une espèce isolée et n'atteignent pas la nature, laissent de nouveau la place libre à la spéculation philosophique et physique. Alors la genèse des minéraux, leur formation rapide ou lente, l'ensemble des conditions qui ont accéléré ou retardé leur cristallisation intéressera infiniment plus que leur morphologie, leur aspect, leur classification et leurs propriétés caractéristiques.

Nous voici ramenés à la théorie de la Terre. L'imagination ne rencontre pas d'obstacle et peut raconter, comme il lui convient, la solidification des terrains qui forment le sol sur lequel nous vivons. La pensée de Lamétherie ne s'exerce pourtant pas dans le vide : il s'appuie sur les connaissances fournies par la géologie et la chimie pour découvrir, la cause de la cristallisation des pierres « des

filons métalliques et des substances bitumineuses supposées dissoutes par des agents quelconques ».

Ainsi le refroidissement lent de la planète a solidifié un très grand nombre de corps tenus en dissolution par le feu ; quelques autres se sont déposés par suite de l'évaporation de l'eau qui les contenait ; d'autres encore que les mers violemment agitées tenaient en suspension ont gagné peu à peu le fond à mesure qu'un régime de courants plus calmes s'est établi. — Voilà les causes physiques de la cristallisation générale du globe. Les premières et plus importantes masses de rochers une fois créées, « il demeure une masse considérable d'eau qu'on peut regarder *comme l'eau-mère* de cette cristallisation » cette eau n'était pas pure ; elle devait contenir différentes substances, résidu de la cristallisation du globe, qui se sont précipitées par la suite, soit parce que cette eau-mère contenait un excès d'air fixe qui s'est dissipé dans l'atmosphère laissant la terre calcaire en dépôt, soit parce qu'il se produisit des doubles décompositions suivant les lois chimiques que Berthollet énoncera bientôt mais dont la science faisait usage inconsciemment depuis longtemps.

Lamétherie dévouera toute sa vie de savant à développer la science des cristaux ; il lui fera une place de plus en plus grande dans le *Journal de physique* qu'il est appelé à diriger, peindra chaque année ses progrès et résumera en quelques mots les nouvelles connaissances acquises ; il reprendra de même son hypothèse de la « cristallisation universelle » dans sa chaire au Collège de France et il l'exposera de nouveau dans d'innombrables publications scientifiques ou philosophiques.

Ne nous y trompons pas cependant ! A l'époque que nous atteignons, la science, en s'organisant sur de nouvelles bases, éliminait peu à peu la philosophie spéculative et hypothétique, pour ne retenir que la connaissance de plus en plus approfondie et systématique des corps naturels ; elle recherche les classifications, les différences nettes et

tranchées et les discontinuités facilement enregistrables ; elle veut atteindre le particulier et non plus l'ensemble des êtres. Les théories évolutives que Lamark exprimera bientôt n'intéresseront pas les savants occupés avec Cuvier à faire le catalogue des espèces animales. D'un autre côté, la chimie, au lieu de caractériser plus à fond les équilibres chimiques que Berthollet étudie, suivra l'impulsion féconde que lui a imprimé Lavoisier en donnant des analyses et des synthèses de corps parfaitement définis et purs. Ce n'est donc pas dans les théories novatrices de Lamétherie que nous trouvons l'avenir immédiat de la cristallographie ; celle-ci devient plus positive, plus précise, concentrant tous ses efforts sur la notion de symétrie, et la connaissance approfondie des formes solides que l'on rencontre dans les corps naturels qui peuvent s'exprimer mathématiquement.

Haüy la transformera bientôt en un langage clair et abstrait qui n'aura qu'un lointain rapport avec les constatations qui l'ont fait jusqu'à présent se développer en tous sens ; les années troublées de la révolution qui interrompirent pendant la terreur la publication du journal de physique, ne l'empêchent pas de se préoccuper de l'avenir de sa science : il tente de la rendre accessible à tous et publie *Un abrégé de la théorie sur la structure des cristaux* (1) qui est un véritable ouvrage de vulgarisation démocratique. Le citoyen Daubenton (2) demande que la science des cristaux soit étudiée par les élèves des écoles normales, et cherche à la simplifier ; il voudrait même l'enseigner aux petits jeunes gens de 12 à 14 ans qui fréquentent les écoles centrales qu'un récent décret de la Convention vient de créer... Ces tentatives toutefois n'aboutissent à aucun résultat. La cristallographie n'est pas une de ces sciences, dont on peut donner un aperçu en quelques heures ; elle est restée, en dépit des efforts, encore

1. 1793.
2. An. 4.

confinée, aujourd'hui, dans les facultés des sciences, et n'a jamais figuré dans les programmes des lycées.

La cristallographie entrant dans sa période moderne et définitive se dégage de la minéralogie qui lui a donné naissance ; si elle est un auxiliaire indispensable du minéralogiste et du pétrographe, elle est aussi une science formelle et mathématique indépendante désormais de l'histoire naturelle et de la chimie ; nous l'avons vu se créer et s'abstraire peu à peu des autres notions avec lesquelles elle se confondait ; nous l'avons vu de même, dédaignant d'aborder l'étude de la genèse des cristaux, se contenter de connaître les angles invariables des minéraux, et les rapports géométriques qu'ont entre elles leurs différentes formes. Nous allons la voir se dégager encore d'un ensemble d'autres sciences, qui ont agi sur son développement.

SECTION II

La cristallographie se détache peu à peu de l'étude des êtres vivants.

1. — L'idée que les cristaux se reproduisent par germes existait avant le XVIII[e] siècle (Sherley), mais elle trouve son expression complète dans l'œuvre de Tournefort : *L'Inorganique calqué sur le vivant.* — La circulation, la nutrition et la reproduction des Minéraux.
2. — Confusion entre les trois règnes de la Nature. — Différenciation lente. — Venette. — Sténon. — Leewenhoec. — Borrichius. — Ghedini. — Scheuchzer. — Leibnitz. — Réaumur.
3. — L'œuvre de Bourguet. — Définitions des cristaux et des êtres vivants. — Le mécanisme de la cristallisation. — Le mécanisme organique.
4. — *Le mécanisme organique calqué sur le mécanisme minéral.* — Buffon. — Objection de Haller. — Les « molécules organiques » calquées sur les molécules cristallines sont-elles aussi la cause de la figuration des cristaux ? — Généralisation des théories de Buffon. — La cristallisation spontanée et la génération spontanée. — Guéneau de Montbeillard. — Lamétherie. — Ce dernier considère la vie comme un cas particulier de la cristallisation universelle. — Théorie extrême opposée à celle de Tournefort.
5. — Opinions moyennes. — Goût du public pour l'histoire naturelle. — Les observations préférées au raisonnement. — Causes de cette évolution. — Les cabinets d'histoire naturelle contiennent des fossilles et des cristaux. — Leur différenciation. — Barrère et Buffon. — Les minéralogistes ne s'intéressent plus qu'aux minéraux. — Lutte contre la réaction. — Bertrand réfuté par Guettard. — Robinet par Romé de l'Isle.
6. — Les naturalistes admettent l'indépendance absolue des trois règnes de la nature et oublient parfois d'indiquer dans leurs préfaces en quoi le brut diffère essentiellement de l'organisé. — Robien. Wallérius. Cronstedt. Bonnet, etc. — Discussion géométrique de Romé de l'Isle. — La cristallographie devient une science autonome.

1. La minéralogie ne contribua pas seule parmi les sciences naturelles à l'évolution de la cristallographie. Pendant le XVII[e] siècle, les anatomistes, les médecins et les amateurs de toute sorte qui cherchaient dans les objets naturels un excitant à leur imagination, furent surtout frappés

par le grand nombre de « pierres figurées » ayant une forme remarquable, ou imitant à s'y méprendre les aspects de certains êtres vivants. L'origine de ces « jeux de la nature » dont les cristaux faisaient partie par leur transparence et leur régularité, suscita une longue série de travaux, les concepts peu précis d'alors se prêtèrent à des généralisations en tous sens, ayant chacune *a priori* quelque degré de vraisemblance. — Beaucoup de savants avaient déjà tenté de montrer que les minéraux ressemblaient, par un grand nombre de traits, aux êtres organisés, animaux ou plantes. C'est ainsi que Sherley (1) crut pouvoir affirmer que les cailloux et les pierres sont produits par des germes se nourrissant uniquement d'eau et acquérant peu à peu leur solidité et leur grosseur.

Mais Tournefort (2) le premier présenta cette théorie dans sa forme absolue et avec une grande rigueur ; ce botaniste célèbre voit de la botanique partout ; il découvre que les coraux et les éponges ramassés au fond de la mer sont des êtres vivants, il croit que ce sont des végétaux. « La mer, disait-il, a ses plantes, si différentes de la plupart de celles que la terre produit, qu'il n'y a guère que les yeux des physiciens qui puissent les reconnaître pour des plantes ; — le corail, par exemple, n'a pas toujours passé pour en être une et beaucoup de plantes marines ne ressemblent qu'à des pierres » ; mais si quelques végétaux ressemblent d'une manière étonnante aux minéraux, pourquoi ces deux genres d'êtres ne seraient-ils pas analogues ? La similitude, en effet, peut être poussée très loin et servira de point de départ à un système philosophique sur la formation des minéraux. — L'étude du corail dans lequel le microscope ne découvre point de semences et dont les germes pourraient être fluides, permettra une ébauche grossière de cette nouvelle manière de voir ! « La conjecture de M. de Tournefort sur la géné-

1. Londres, 1672.
2. A. D. S., 1700-1702.

ration des coraux peut être appliquée à toutes les autres plantes pierreuses de la mer ; il croit même qu'elle pourrait l'être aux véritables pierres. Elles ont une structure organique constante, témoin leurs veines qui les rendent plus aisées à couper en un certain sens. Elles pourraient bien aussi se former d'une matière liquide. M. de Tournefort a montré, à l'Académie, des pierres à fusil et des morceaux de craie formés dans des coquillages, dont l'ouverture avait toujours été trop petite, et où par conséquent ces pierres n'avaient pu entrer qu'en forme de liqueurs, après quoi elles avaient durci et avaient peut-être végété... c'est au temps et à l'expérience à mûrir cette idée, mais enfin quand la nature a pris une route, elle a coutume de la suivre, et puisqu'il y a des plantes pierres, c'est un préjugé recevable en physique que les pierres pourraient être des plantes »... S'il est besoin de temps et d'expérience pour confirmer avec preuves à l'appui un système d'une telle envergure, le philosophe se contente de quelques observations rapides et superficielles pour montrer que sa théorie représente bien la nature. Deux ans suffisent à Tournefort pour mettre la sienne au point ; il l'expose dans toute son ampleur à l'Académie des sciences, et invoque comme justification les curiosités lointaines observées lors de son célèbre voyage au Levant. Par exemple les morceaux d'une pierre des Indes, fendue accidentellement, se sont réunis de nouveau par un calus naturel.

« Cela étant, il semble que l'on ne puisse douter qu'il y ait des pierres organisées ; elles ne sauraient tirer leur suc nourricier de la terre ; ce suc doit être porté de leur superficie, que l'on doit regarder comme une espèce d'écorce, dans toutes les autres parties... Et il n'y a pas plus de difficulté à le concevoir qu'il n'y en a de comprendre comment la sève passe des racines de nos plus grands chênes et de nos sapins jusqu'à l'extrémité de leurs plus hautes branches. » Si les pierres se nourrissent comme les plantes, pourquoi ne se reproduiraient-elles pas, elles

aussi, par graines ? Pourquoi chacune d'elle ne proviendrait-elle pas d'un germe dans lequel ses parties organiques seraient enfermées en petit, ainsi que les plus grandes plantes le sont dans les germes de leurs graines ? Pour la botanique universelle, poser la question, c'est la résoudre. Tournefort affirme : « les pierres que l'on appelle cornes d'Amon, les différentes espèces de pyrite, les cristaux de roche et une infinité d'autres pierres supposent aussi bien des germes particuliers que les champignons ordinaires, que les truffes et que plusieurs espèces de mousse dont on n'a su découvrir les semences jusqu'ici ».

Si l'on veut éviter de prétendre que ces pierres aient été moulées dans des moules innombrables dont on ne retrouve pas la moindre trace, disparus donc miraculeusement, il faut leur accorder l'organisation ; il n'y a du reste qu'à casser les cornes d'Amon pour se convaincre que cette hypothèse est la juste ; ces cornes sont enroulées en spirale, et dans certaines espèces les pas sont formés de plusieurs pièces articulées les unes dans les autres par des sutures semblables à celles du crâne.

Cela est moins net chez les pyrites, mais on peut quand même le découvrir. Pourquoi n'étendrait-on pas cette conjecture au cristal de roche ? On ne peut soupçonner qu'il ait été formé par quelque coagulation, comme les sels qui cristallisent dans les laboratoires de chimie ; car voyant ces morceaux de cristal sortir manifestement de la roche, on ne saurait avancer que le suc qui produit ces sortes de pierres ait été jeté dans les cavernes comme les dissolutions de nitre, par exemple, que l'on fait évaporer dans les terrines.

« Il semble, ajoute Tournefort, qu'il y ait beaucoup de rapports entre la génération des quilles des cristaux et celles des dents ; on pourrait croire que je suppose dans ces pierres une structure imaginaire si l'on était persuadé que les diamants eux-mêmes se taillent plus facilement dans un sens que dans l'autre, que les marbres ont leurs veines et le cristal de roche ses pores assez ouverts, pour

recevoir les couleurs qu'on leur veut donner. Boot, après avoir fait bien des recherches sur la figure affectée des cristaux, conclut qu'elle est aussi naturelle à ces pierres que celle des feuilles, des fleurs et des plantes ; il rapporte l'une et l'autre à un esprit architecte et à une faculté formatrice. Ne vaut-il pas mieux supposer des espèces d'œufs, puisque tout le monde convient que les semences des plantes sont aussi bien des œufs que les parties des oiseaux et des poissons à qui de tout temps l'on a donné ce nom ? Et qu'est-ce qu'un œuf, si ce n'est l'oiseau, le poisson, ou la plante en miniature. »

Il est donc rationnel de supposer que les cristaux végétent ainsi que plusieurs autres pierres, c'est-à-dire qu'ils commencent par un germe, et que le suc même que la roche leur communique les fait éclore ; — remarque analogue au sujet des métaux ; — Il est assez vraisemblable que ces sortes de corps se multiplient aussi par des germes particuliers ; on connaît à l'appui de cette opinion des végétations naturelles d'or pur qui ont poussé sur les pierres en incrustant profondément leurs racines.

« Après toutes ces observations, conclut Tournefort, il semble qu'on peut supposer que le germe des pierres et des métaux est une espèce de poudre qui se détache d'eux dans le temps qu'ils sont encore en vie, c'est-à-dire, qu'ils croissent véritablement ; on peut comparer cette poussière que nous appelons les germes des pierres, aux semences de plusieurs plantes. Les semences des fougères, des capillaires, des mousses, des truffes, et des plantes semblables ne se peuvent découvrir qu'avec le microscope. Cependant ces semences produisent aussi bien que celles qui sont visibles. Peut être que les cailloux sont parmi les pierres ce que les truffes sont parmi les plantes. Cette pensée n'est pas tout à fait nouvelle. Pline assure que Mutanius et Théophraste ont cru que les pierres reproduisaient d'autres pierres, et saint Grégoire assure qu'il y a eu des auteurs qui ont cru que les pierres faisaient l'amour. »

L'extrême petitesse que l'on est obligé de supposer à ces germes minéraux, ne saurait servir d'objection contre leur existence ; le règne animal présente des cas presque semblables. « Combien voit-on d'œufs de poisson qui sont aussi menus que des grains de sable ? Les physiciens pourtant sont persuadés que les poissons entiers sont renfermés en miniature dans les germes de ces grains de sable et que toutes les parties qui sont dessinées dans un espace qui échappe à notre imagination ne font que se développer et se rendre sensibles par un suc qui les dilate... Rien ne manifeste plus la grandeur du Seigneur que cette simplicité et cette uniformité qui se trouvent dans les productions de tous les corps ! Quoi de plus admirable que de voir sortir d'un si petit volume, hommes, poissons, oiseaux, quadrupèdes, pierres et métaux ? Puisqu'il y a des pierres qui croissent incontestablement par un principe intérieur qui ne dépend que d'une organisation particulière qui reçoit et distribue le suc que la terre même commune leur fournit. Pourquoi n'admettrait-on pas ce même principe dans tous les autres fossiles ? »

2. Cette théorie née trop parfaite pour pouvoir être perfectionnée ou rectifiée ne resta pas absolument isolée et fut reprise bien souvent. Les vulgarisateurs et les publicistes la rééditèrent pendant de nombreuses années, et nous la verrons renaître pendant tout le cours du XVIII[e] siècle. Venette, indépendamment de Tournefort et la même année que lui, en donne un exposé analogue. Le monde, pense-t-il, ne se maintient que par des générations continuelles de tous les êtres qui le composent, animaux, plantes ou pierres. « La nature a donc bien voulu que les minéraux se perpétuassent par le moyen de la semence par lequel se perpétuent aussi les êtres les plus parfaits ; en effet, les minéraux, aussi bien que les animaux et les plantes, ont leurs semences par lesquelles ils engendrent leurs semblables dans les entrailles de la terre (1). »

1. *Traité des pierres*, 1702.

Nous voyons donc quelle confusion empêchait les savants d'alors de se représenter clairement les propriétés des trois règnes de la nature ; il fallait non seulement définir abstraitement l'animal, le végétal ou le minéral par une propriété quelconque que l'on considérait comme essentielle, mais encore reconnaître auquel de ces règnes appartenait l'objet concret que l'on avait sous les yeux. Cela avait été une des grandes préoccupations de quelques naturalistes étudiant les minéraux. Sténon, par exemple, cherche à montrer que l'accroissement du cristal de roche et des autres pierres angulaires se fait uniquement par l'action immédiate du fluide externe, alors que les êtres vivants s'agrandissent par les réactions réciproques des fluides internes et des fluides externes, extraits du milieu dans lequel ils se meuvent. Leewenhoec (1) étudie l'anatomie au microscope jusque dans ses plus infimes détails, mais il observe l'aspect des grains de sable et des cristallisations salines. L'étonnante régularité des formes qu'il constate dans les cas les plus divers l'amène à considérer comme similaires le brut et l'organisé. Aussi recherche-t-il les mêmes éléments chimiques dans le minéral et le végétal et cela par la figuration semblable de leurs molécules observables, qui en outre donnent la même sensation de goût à la langue. Borrichius explique comme on le ferait aujourd'hui le mécanisme des pétrifications d'animaux et de plantes, mais en prévenant ses lecteurs que les fragments pétrifiés sont plus rares qu'on ne le pense. Il les met en garde contre les exagérations et les erreurs que notre goût pour les curiosités a d'abord créées puis entretenues. « J'observerai, dit il, qu'on prend souvent pour pétrification ce qui dans son origine n'a jamais été que de la pierre. Tels sont quelques fragments que l'on m'a montré dans un cabinet fort célèbre. Celui qui les faisait voir, trompé par leurs veines et par leurs linéaments, voulait que ce fussent des morceaux de bois pétri-

1. T. P., 1680 et an. suiv.

fiés. J'ai remarqué cependant dans les Alpes plusieurs morceaux de pierre et même des rochers tout entier marqués de veines de la même manière. »

D'autres savants, par contre, font une erreur en sens inverse. Ghédini (1) prétend que les cristaux de roche ou les Bélemnites, tous deux de forme régulière, ont une origine analogue. L'étude de la symétrie des uns jettera du jour sur la symétrie des autres et permettra de reconstituer dans leur intégralité les échantillons que la Nature ne nous livre que brisés. Jacques Scheuchzer (2), en s'opposant à l'opinion commune, semblera donc énoncer une idée nouvelle quand il prétendra que les pierres figurées sont tout autre chose que des jeux fortuits de la nature. « Ces soi-disant curiosités du règne minéral appartiennent au règne animal ». — Leibnitz (3) pense, de même que la plupart, que ces pétrifications sont d'origine organique ; il se représente parfaitement le mécanisme de leur formation ; s'il voit une empreinte de poisson, par exemple, dans un morceau d'ardoise, il tentera de reconnaître chacun des détails de l'inscription ; il se rendra compte que ces sortes de représentations ne sauraient être des jeux fortuits de la nature. « Si la nature se jouait, elle jouerait avec plus de liberté et ne s'assujetirait pas à exprimer si exactement les petits traits de ces originaux, et ce qui est encore plus remarquable, à conserver si juste leurs dimensions ; mais quelques cristaux ou pierres, quoique réguliers, n'imitent pas absolument la forme et les détails des êtres vivants ; quand cette exactitude ne se trouve pas, ce peut être des jeux ou des arrangements fortuits. » Il ne faut donc pas porter un jugement trop absolu et général sur les objets trouvés dans le sol. Nous devons discerner parmi les curiosités naturelles qui excitent notre imagination celles qui sont d'origine organisée et ne pas les classer toutes indistinctement sous la même rubrique.

1. 1705.
2. A. D. S., 1706.
3. A. D. S., 1706.

Mais ne pourrait-on concilier ces différentes opinions en montrant que la partie la plus solide de certains animaux, la coquille des mollusques marins qui conserve la rigidité et la forme caractéristique de leur hôte longtemps après que l'être lui ayant donné naissance ait définitivement disparu, se forme comme les cristaux minéraux et non comme les organismes vivants? Il suffirait semble-t-il de regarder pour décider. Réaumur (1), patient et scrupuleux observateur, formule ainsi des conclusions. « Quoique la coquille fasse la fonction d'os universel de l'animal, elle ne croît pourtant pas comme les os, ni comme les autres parties par végétation, c'est-à-dire, par un suc qui circule au-dedans d'elle-même, mais par une addition extérieure des parties qui surviennent les unes après les autres, et s'entassent peu à peu selon qu'on le pense communément des pierres, et il est remarquable qu'il y ait une partie d'animal qui emprunte des minéraux cette façon de croître. »

Quoiqu'en pensent quelques savants tels que Mery qui prétendent le contraire, il est désormais établi que les coquilles croissent par *juxtaposition*, à l'exemple des cristaux ou des carapaces de crabe, et non par *intussuception* comme les parties véritablement vivantes de l'animal ! La coquille de l'escargot est un produit de sa sueur et elle est uniquement pierreuse. Il n'y a donc pas de séparation absolue entre les trois règnes de la nature ; un être particulier peut appartenir à plusieurs. On modèle à volonté le minéral sur le vivant, et l'organique sur l'inorganique. Nous ne nous étonnerons donc pas de voir réunies dans le même ouvrage, des séries d'observations qui se rapporteraient aujourd'hui aux sciences naturelles les plus diverses ; et cela, par les auteurs mêmes qui par leur opposition aux manières de voir de leur temps ont préparé la venue des conceptions modernes. « Les lettres philosophiques (2) sur la formation des sels, des cristaux, et sur le

1. A. D. S., 1716.
2. 1729.

mécanisme organique, et sur la génération des plantes et des animaux à l'occasion de la pierre bélemnite et de la pierre lenticulaire » sont bien, du moins par le titre et l'arrangement de leurs parties, un produit de l'évolution interne de la science.

3. Si la postérité qui ne retient et n'admire que les œuvres parfaites, indépendantes, semble-t-il, du temps et de l'espace, si la postérité a oublié de mentionner Bourguet parmi les grands savants qu'elle révère, cela tient à ce que cet auteur est rattaché par toutes sortes de liens au passé et à l'avenir immédiat de la science et que ses livres semblent confus si on les parcourt rapidement sans les replacer dans leur milieu. Bourguet est un esprit hardi qui laisse sa pensée se diriger librement en tous sens, parmi les faits connus avant lui ou découverts par lui. Il connaît les explications traditionnelles et ne les rejette pas *a priori*, il ne doute pas systématiquement et n'essaye pas d'imposer un ordre logique didactique aux matières qu'il est amené à traiter. S'il sépare parfois des notions précédemment confondues, s'il fait ressortir des analogies jusqu'alors inaperçues, c'est uniquement pour se créer une route et ne pas se perdre dans le labyrinthe scientifique qu'il ne se soucie pas de dominer. — Il n'est ni révolutionnaire, ni vulgarisateur, ni professeur. — C'est un savant qui propose ses conclusions à d'autres savants; son œuvre fait saisir, mieux qu'un traité méthodique et complet, la marche de l'esprit humain obligé de se créer des concepts dans le chaos.

Voyez comment il essaye de déterminer l'origine de chacune des *pierres figurées*. Les pierres angulaires ou cristaux, aussi bien que celles qui affectent l'aspect de coquilles, d'ossements, d'animaux, de plantes terrestres ou marines, etc... Ces curiosités, dit-il, ont depuis plus de deux siècles attiré l'attention des philosophes qui malheureusement se contentaient d'explications simplistes, et croyaient savoir tout dit quand ils ont attribué les formes régulière

du stalactite ou du bélemnite à des activités directrices ou à des esprits formateurs ; ces deux corps sont pourtant essentiellement différents : le premier se produit sous nos yeux dans les cavernes, le second est un fragment d'un animal ancien qui n'existe plus aujourd'hui. Une même interprétation de leurs origines ne saurait convenir ; il faut donc éviter les généralisations séduisantes de quelques prédécesseurs. « On a cru de tout temps, dit Bourguet, que les minéraux étaient engendrés, mais la manière de leur génération n'ayant jamais pu être expliquée, Tournefort et quelques académiciens ont prétendu que les pierres, les métaux, les autres minéraux tiraient leur origine d'un germe comme la plante ou l'animal. Une plus exacte recherche à renversé ces théories. » Les semences et les germes prêtés si libéralement même aux blocs de marbre et aux bancs de rochers se sont évanouis presque aussitôt qu'ils ont paru. La vérité s'est enfin fait jour à travers toutes ces chimères de la façon des savants. Est-ce à dire qu'il n'y ait aucune analogie entre les corps appartenant aux trois règnes de la nature ? Le règne minéral, autant que le végétal et l'animal, est organisé quoique dans un ordre différent que les philosophes et les chimistes l'ont imaginé. Cet organisme consiste d'abord en des corpuscules d'une petitesse presque infinie, dont les figures sont géométriques mais des plus simples, des sphères ou des points physiques des triangles, des carrés ; des cubes, des rhombes ou des parallélipipèdes. Ces corpuscules, doués chacun d'une activité vitale convenable à leur figure, entrent dans la composition de tous les amas qu'il y a dans le monde matériel.

On commence donc à voir que le mécanisme minéral est plus simple que le mécanisme organique et que les théories provenant d'observations sur les êtres vivants ne peuvent être appliquées, dans leurs complications, à la formation moins complexe des pierres et des cristaux. C'est la physique de Newton, l'admirable loi de gravitation universelle, qui rejettera dans l'ombre les vagues rêveries des

philosophes. Pour résumer en une seule formule l'explication de l'univers. — Elle a fait comprendre le mouvement des astres — pourquoi ne donnerait elle pas à elle seule l'explication des mouvements de ces infiniment petites particules qui se réunissent en masses innombrables avant de devenir palpables? Les découvertes microscopiques de Swamerdam ou Leewenhoec qui les ont mises en évidence, on fait soupçonner des mondes encore plus petits, ayant les mêmes lois que le nôtre, et dont le nôtre ne serait qu'une résultante à notre échelle. Si donc l'on part du moins complexe, si les molécules, par le seul jeu de leurs réactions réciproques, ont pu former les corps les plus variés, si les cas particuliers ne différent que par leurs prémisses, sera-t-on encore tenté d'expliquer le simple par le complexe, le minéral par l'animal? ou au contraire préférera-t-on la marche inverse ?... Sans poser nettement la question, Bourguet la résoud dans le sens indiqué, par l'évolution des pensées de son temps ; il recherche les lois du « mécanisme organique » de tous les produits naturels. « Pour mieux réussir, écrit-il, dans une entreprise aussi difficile, et qui a occupé les philosophes de tous les siècles sans que leurs découvertes aient, si je ne me trompe, suffisamment répondu à la louable peine qu'ils se sont donnée, je crois qu'il faut suivre une route à laquelle ils n'ont peut-être pas assez pensé. Je veux dire qu'il faut d'abord commencer par le plus simple, avant de passer au plus composé, remonter au règne minéral avant que de descendre aux plantes et aux animaux. »

Précisément à cette époque, peut-être parce que les cristallisations se prêtent, plus facilement que les autres phénomènes naturels, à une interprétation mécanique très simple, la genèse et la formation des cristaux intéressent plus que jamais les chimistes, et nous devons nous attendre à ce que les résultats trouvés servent de modèle aux naturalistes qui étudieront la génération et la nutrition des êtres vivants.

Bourguet n'admet encore que timidement ce renverse-

ment d'influences scientifiques. Malgré les rapprochements qu'il fait du brut et de l'organique, il prétend que la « préformation des embryons, des plantes et des animaux ne peut être expliquée par aucune règle de mécanique ni par aucun principe naturel ou surnaturel borné ».

Retenu dans les bornes de la tradition, il laissera à d'autres savants le soin de pousser la comparaison plus loin. Les vérités physiques, dit-il, doivent tenir le premier rang après celles de la religion ; elles peuvent convaincre l'esprit fort de son erreur ou de sa présomption ; elle ne prétendent pas les remplacer et les rendre inutiles. Mais ne sera-t-on pas tenté, en suivant le chemin tracé par lui, d'oublier de faire sa part à la « providence divine qui régit le monde ». L'esprit humain, quand il a découvert sa propre puissance, s'enhardit et ne compte plus que sur lui-même. Buffon, en s'inspirant uniquement de ses connaissances physiques, croit parvenir à l'explication complète de la génération (1).

4. « En considérant les êtres organisés et leur reproduction, un individu n'est qu'un tout uniformément organisé dans toutes ses parties intérieures, un composé d'une infinité de figures semblables et de parties similaires, un assemblage de germes ou de petits individus de même espèce, lesquels peuvent tous se développer de la même façon suivant les circonstances et former de nouveaux composés comme le premier. »

« En approfondissant cette idée, nous allons trouver aux végétaux et aux animaux, un rapport avec les minéraux que nous ne soupçonnions pas ; les sels et quelques autres minéraux sont composés de parties semblables entre elles et semblables au tout qu'elles composent. Un grain de sel marin est composé d'une infinité d'autres cubes que l'on peut reconnaître distinctement au microscope. Ces petits cubes sont eux-mêmes composés d'autres cubes

1. H. N., vol. 2, *Génération*, 1749.

qu'on aperçoit avec un meilleur microscope et l'on ne peut guère douter que les parties primitives et constituantes de ces sels ne soient aussi des cubes d'une petitesse qui échappera toujours à nos yeux et même à notre imagination. Les animaux et les plantes qui peuvent se multiplier et se reproduire par toutes leurs parties sont des corps organisés, composés d'autres corps organiques semblables, dont nous discernons à l'œil les quantités accumulées, mais dont nous ne pouvons apercevoir les parties primitives que par le raisonnement et par l'analogie que nous venons d'établir. »

« Cela nous conduit à croire qu'il y a dans la nature une infinité de parties organiques actuellement existantes, vivantes et dont la substance est la même que celle des êtres organisés, comme il y a une infinité de particules brutes, semblables aux corps bruts que nous connaissons. Et que comme il faut peut-être des millions de petits cubes accumulés pour faire l'individu sensible d'un grain de sel marin, il faut aussi des millions de parties organiques semblables au tout, pour former un seul des germes que contient l'individu d'un orme ou d'un polype et comme il faut séparer, briser et dissoudre un cube de sel marin pour apercevoir, au moyen de la cristallisation, les petits cubes dont il est composé, il faut de même séparer les parties d'un orme ou d'un polype pour reconnaître ensuite au moyen de la végétation ou du développement les petits ormes ou des petits polypes contenu dans ces parties. »

Le système développé par Buffon sur la génération des êtres vivants est donc modelé sur sa théorie de la formation et de la structure des cristaux. Avant de l'examiner dans ses détails, nous demanderons peut-être s'il est juste de généraliser à tous les règnes de la nature des hypothèses invérifiées, que l'observation de quelques échantillons minéraux a fait naître ? N'est-il pas abusif d'admettre sans discussion que les particules cristallines soient semblables aux hypothétiques « molécules organiques » qui en se réunissant pour former des « moules

intérieurs » fixent définitivement la forme du futur animal ? Le baron de Haller (1) signale cette difficulté, mais n'ose trancher la question qu'il soulève.

Les cristaux ne semblent pas au premier abord organisés. « Les grandes masses de cristal de roche, et les cristallisations presque invisibles des sels sont composés de particules entièrement semblables entre elles et à la masse qui en résulte. L'homéomérie d'Anaxagore règne d'une façon évidente dans cette partie de la nature et l'on y voit des particules former un tout dont la formation est constante et régulière sans que le moindre soupçon de semence ou de germe s'y puisse glisser ». Seule la force de l'attraction se manifeste dans ces produits naturels qui n'ont rien de commun avec les organismes. Dans de telles conditions, est-il légitime de prétendre qu'une chaîne d'organisation s'étend sans interruption depuis l'organisation d'un Alexandre jusqu'à celle d'un flocon de neige, et la généralisation de Buffon, demande Haller, n'est-elle pas trop hardie ?...

Elle va surprendre son auteur lui-même quand, revenant aux minéraux après avoir fair le tour de l'histoire naturelle, il découvrira que les molécules cristallines sont semblables aux molécules organiques.

Les animaux et les végétaux, pose-t-il d'abord, se reproduisant également par eux-mêmes, doivent être considérés comme des êtres semblables pour le fonds et les moyens d'organisation ; les minéraux (2) qui ne peuvent se reproduire par eux-mêmes et qui néanmoins se produisent toujours sous la même forme en différent par l'origine et la structure dans laquelle il n'y que des traces superficielles d'organisation ; ils ne se nourrissent ni ne se reproduisent et cependant ils assimilent et grandissent ; mais d'une toute autre manière que les animaux ; « leur seule manière de croître est une augmentation de volume par la juxtaposition successive de nouvelles parties cons-

1. 1751.
2. *Minéraux*. 1779 à 1784.

tituantes qui toutes n'étant travaillées que sur deux dimensions, c'est-à-dire en longueur et en largeur, ne peuvent prendre d'autre forme que celle de petites lames infiniment minces... et des lames superposées et réunies composent par leur agrégation un volume plus ou moins grand et figuré lui-même. »

La figuration des minéraux est un trait rudimentaire d'organisation, une ébauche de vie due à la présence de traces vivantes qui réunissent les particules minérales régulières en leur communiquant une certaine cohésion : les atomes s'assemblent en petites lames minces, toutes figurées de même, qui composent ensemble un volume sensible et figuré. « Les prismes du cristal, les rhombes des spaths calcaires, les cubes du sel marin, les aiguilles du nitre, toutes les figures anguleuses, régulières ou irrégulières des minéraux, sont tracés par le mouvement des molécules organiques et particulièrement par les molécules qui proviennent du résidu des animaux et végétaux dans les matières calcaires et dans celle de la couche universelle qui recouvre la superficie du globe ; c'est donc à ces matières mêlées d'organique et de brut que l'on doit rapporter l'origine primitive des minéraux figurés. » Il peut donc exister des minéraux absolument bruts en l'absence des molécules organiques. Nombre de pierres sont amorphes, ce qui confirme cette manière de voir. N'oublions pas cependant qu'une infime quantité de molécules organiques suffit à déterminer la forme de grosses masses pierreuses, ce qui explique la grande quantité de minéraux cristallisés trouvés à la surface du globe.

Voici la théorie : laissons Buffon l'appliquer : « Je prétends, dit-il, que le diamant qui prend une forme régulière et cristallise en octaèdre est un produit immédiat de la terre végétale... La pyrite est un minéral de figure régulière qui n'a pu exister avant la naissance des animaux et des végétaux ; c'est un produit de leurs détriments. » Aussi ces pierres se trouvent-elles sur toute la surface de la terre jusqu'à la profondeur où sont parvenus

les détriments des corps organisés... Cette hypothèse, direz-vous, est-elle bien nécessaire ? Ses résultats sont-ils conformes à nos observations ? Comment expliquer alors que les pyrites se trouvent en si grandes quantités dans les régions volcaniques ? Il nous faudra encore supposer ; nous admettrons que la terre végétale étant la vraie matrice des minéraux figurés qui se trouvent à la surface et dans les premières couches du globe, elle est aussi la base de presque tous les produits immédiats du feu des volcans auquel elle sert d'aliment... mais nous croyions jusqu'à présent que le feu primitif était antérieur au règne végétal, et c'est le feu primitif qui a donné naissance aux granits et aux phorphyres qui sont figurés... Il y a dans nos conclusions une contradiction inquiétante ; comment la lèverons-nous ?

« N'avez-vous pas annoncé, objectera-t-on à Buffon, que la figuration de tous les minéraux n'est due qu'au travail des molécules organiques, qui ne pouvant en pénétrer le fond par la trop grande résistance de leur substance, auront seulement tracé sur la superficie les premiers linéaments de l'organisation, c'est-à-dire la figuration ; or, il n'y avait point de corps organisés dans ce premier temps ou le feu primitif a réduit le globe en verre... Ne suffit-il pas d'admettre la puissance de l'attraction et l'exercice de la force par les lois de l'affinité pour concevoir que toutes les parties homogènes se réunissant, elles doivent prendre en conséquence des figures régulières, et se présenter sous différentes formes relatives à leurs différentes natures, telles que nous les voyons dans les cristallisations. »

Personne n'a trouvé un argument plus fort contre les théories séduisantes et si ingénieuses de Buffon ; il n'y aurait, dit Buffon lui-même, qu'un seul moyen de le combattre ; il nous faudrait pour cela universaliser la notion de « molécules organiques » qui au lieu d'être, comme nous le croyions, l'apanage des êtres vivants, existeraient aussi dans les corps bruts, et serviraient de traits d'union entre

les trois règnes de la nature ; L'hypothèse gagnerait en généralité ce qu'elle perdrait en précision. Reprenons-là dans son ensemble. « Ma réponse à cette importante question, dit l'auteur, est que pour produire une forme régulière dans un solide, la puissance de l'attraction ne suffit pas et que l'affinité n'étant que la même puissance d'attraction, les lois ne peuvent varier que par la diversité de figures des particules sur lesquelles elle agit pour les réunir ; sans cela toute matière réduite à l'homogénéité prendrait la forme sphérique comme la prennent les gouttes d'eau, de mercure et de tout autre liquide, et comme l'ont prise la terre et les planètes dans le temps de leur liquéfaction. Il faut nécessairement que tous les corps qui ont des formes régulières avec des faces et des angles reçoivent cette impression de figure de quelque autre cause que l'affinité ; il faut que chaque atome soit déjà figuré avant d'être attiré et réuni par l'affinité, et comme la figuration est le premier trait de l'organisation, et qu'après l'attraction, il n'y a d'autre puissance active dans la nature que celle de la chaleur et des molécules organiques qu'elle produit, il semble qu'on ne peut attribuer qu'à ces mêmes éléments actifs, le travail de la figuration... L'existence des molécules organiques a précédé celle des êtres organisés ; elles sont aussi anciennes que l'élément du feu : un atome de lumière ou de chaleur est par lui-même une molécule active qui devient organique dès qu'elle a pénétré un autre atome de matière ; ces molécules organiques une fois formées ne peuvent être détruites ; le feu le plus violent ne fait que les disperser sans les anéantir : nous avons prouvé que leur essence était inaltérable, leur existence perpétuelle, leur nombre infini, et qu'étant aussi universellement répandues que les atomes de la lumière, tout concourt à démontrer qu'elles servent également à l'organisation des animaux, des végétaux et à la figuration des minéraux : puisqu'après avoir pris à la surface de la terre leur organisme tout entier dans l'animal et le végétal, retombant ensuite dans le minéral, elles réunissent

tous les êtres sous la même loi et ne font qu'un seul empire des trois règnes de la Nature. »

Ainsi revenu à son point de départ, expliquant le minéral par l'animal, comme autrefois il expliquait le vivant par le cristallisé, Buffon présente dans son ensemble un système du monde à la fois homogène et simple. Les « molécules organiques » causent la figuration de tous les corps naturels à morphologie définie ; voici leur grand, leur unique rôle. Mais si elles sont universellement répandues, si elles ont contribué à la genèse des êtres quels qu'ils soient, leur trop grande généralité les empêchera d'intervenir seules dans les innombrables cas particuliers où nous les rencontrerons. Elles n'expliquent en définitive que l'anisotropie de la matière, anisotropie aussi sensible chez les cristaux, que chez les végétaux et les animaux. Après avoir supposé leur existence Buffon ne pensera plus à les faire intervenir quand il étudiera de plus près la structure, la formation et l'accroissement des minéraux. Il suit en cela une méthode rigoureusement logique ; mais son raisonnement est masqué ; au lieu de l'exposer dogmatiquement, il tire à l'occasion de chaque pierre les conséquences spéciales. Les « Molécules organiques » sembleront incohérentes, bizarres, et inutiles à tout lecteur non prévenu. Le naturaliste observateur les repoussera avec indignation.

« J'avoue, s'écrie Romé de l'Isle (1), que je ne m'attendais pas à voir les molécules organiques jouer un rôle dans la formation des cristaux et surtout du cristal de roche puisque cette pierre appartient aux montagnes primitives qui dans l'hypothèse même de M. de Buffon est antérieure à toute production organique et n'en récèlent pas le moindre vestige ».

Ne semblerait-il pas, au contraire, que le philosophe spéculatif doive aboutir, comme le fait Buffon, à chercher une vérification de ses théories en les appliquant au mo-

1. 1783.

dèle primitif qui leur a donné naissance ? Si l'étude des cristallisations a pu suggérer l'existence des molécules organiques, si les êtres vivants sont analogues aux minéraux, la réciproque est évidente ; nous le remarquerons un jour ; nous retournerons donc notre système et l'exprimerons dans sa forme la plus pure en le ramenant à son point de départ. Seulement notre raisonnement circulaire sera indépendant de la réalité qu'il n'atteindra plus ; nous nous éloignerons indéfiniment de l'expérience ; et nous croirons avoir découvert une vérité très générale quand nous appliquerons aux particules des minéraux, le terme de « molécules organiques » qui dans notre idée originelle ne qualifiait que les parties infiniment petites et indivisibles de matière vivante.

Buffon n'est pas le seul savant qui base la théorie de la vie sur la théorie de la cristallisation. Les corps bruts sont plus faciles à atteindre que les êtres organisés, l'expérimentateur le remarque ; il tentera donc quand il voudra philosopher, d'aborder le vivant à travers le minéral que la physique connaît mieux. Guéneau de Montbéliard par exemple, malgré les patientes recherches de Swamerdam et de Rédi qui ont amené les naturalistes à nier jusqu'à l'existence des générations spontanées, s'obstinera à montrer l'analogie théorique entre la formation des cristaux et la naissance d'animalcules dans un milieu privé de germes. Laissons-le s'expliquer lui-même(1) : « Le régule minéral n'offre peut-être pas une seule matière qui dans certaines circonstances ne prenne de soi-même une forme déterminée ; les métaux, les talcs, les gypses, les sels, les régules métalliques, la glace, la neige, la marcassite et selon quelques-uns les filons des mines sont régulièrement figurés : on trouve aussi des cristallisations en grandes masses ; on ne connaît ni la figure propre des parties composantes de ces corps ni la force qui les arrange ; mais

1. C O L, 1764.

leur tendance à prendre une forme déterminée est incontestable puisqu'elle se manifeste par le fait : cette tendance peut être arrêtée ou seulement modifiée par l'action d'une cause perturbatrice ; dans le premier cas, elle ne produit aucune forme régulière ; dans le second, elle produit une forme régulière mais qui s'éloigne d'autant plus de la forme originelle que la cause perturbatrice est plus puissante ; de là les variétés qui se rencontrent dans la forme des cristaux, des sels, des marcassites et de tous les corps figurés. En combinant diversement les substances qu'on appelle acides et alcalines, on a des sels neutres diversement cristallisés. Tous ces corps figurés sont produits manifestement par une sorte de génération spontanée ; pourquoi donc serait-il absurde d'accorder aux éléments de la matière vivante cette faculté qu'ont les éléments de la matière brute de se réunir avec ordre, et de former par leur réunion des corps d'une figure déterminée et qui participeront à la nature de leurs éléments ? On ne peut nier la cristallisation des sels, la formation du régule d'antimoine et l'on voudrait nier jusqu'à la possibilité de la génération spontanée qui dans le fond n'est qu'une cristallisation de la matière vivante ; cristallisation qui ne diffère de celle de la matière brute que par les différentes qualités des deux matières et qui s'y rapporte exactement en ce que l'une et l'autre n'est qu'une combinaison spontanée des particules d'où résultent des composés d'une figure déterminée et d'une nature analogue à celle de leurs parties composantes. »

Ainsi le minéral et l'organique sont composés d'éléments différents, soumis au même déterminisme et formant des séries parallèles absolument semblables. Ceci compris une fois pour toutes, il sera légitime de partir des théories de la cristallisation, et des variétés cristallines, pour établir, non seulement l'existence des générations spontanées, mais aussi les variations qui déforment les êtres vivants suivant les âges, les climats et l'ensemble de leurs conditions d'existence. Guéneau de Montbéliard ne poussera pas dans

les détails ce transformisme réduit à des généralités vagues, ouvrant toutefois aux savants futurs un champ de recherches inexploré. Il se contentera de formuler que tous les faits naturels peuvent s'expliquer de la même manière, quelles que soient les différences fondamentales qui les caractérisent ; entre la cristallisation et la vie, de même qu'entre les espèces cristallines ou entre les espèces vivantes, nous ne remarquons que des modifications spéciales et individuelles ; tant il est vrai que « les lois de la nature ne changent pas, mais que les phénomènes varient, suivant les différentes combinaisons que prend la matière en obéissant à ses lois ».

La même témérité de pensée, le même souci d'universaliser une notion déjà générale, se retrouvera dans les œuvres de Lamétherie qui, durant toute sa carrière se servira de la cristallographie pour éclairer d'un jour nouveau toutes les branches des connaissances humaines ; il est absolument convaincu que la science approfondie des cristaux rejoindra dans un avenir prochain l'étude des êtres vivants et que l'on s'apercevra que la vie elle-même n'est qu'un cas particulier de la cristallisation générale de la matière.

« La cristallisation, en effet, est un des plus grands phénomènes de la Nature (1) ; tous les corps affectent constamment une figure particulière lorsqu'ils sont livrés à leur propre force... Chaque sel, chaque pierre, chaque métal a une forme appropriée... Portant nos vues plus loin encore, nous n'avons pas craint de dire que la reproduction des êtres organisés, des végétaux et des animaux, est également une véritable cristallisation ».

Cette affirmation répétée indéfiniment dans le *Journal de Physique* et dans d'innombrables ouvrages, restera toutefois bien vague, car son auteur ne cherchera pas à la serrer de près par l'énumération de faits la justifiant. Elle

J. P., 1778.

est antérieure à l'expérience ; l'observation ne la contredit point et cela suffit pour qu'elle soit légitimement établie. Voyez avec quelle aisance est résolu le grave problème de la Génération spontanée. Là où Guénau de Montbéliard proposait des doutes, Lamétherie décide :

« Je regarde la génération (ordinaire) comme une espèce de cristallisation ; les semences du mâle et de la femelle en se mêlant produisent le même effet que deux sels ; le résultat est la cristallisation du fœtus (1). Tous les corps affectent chacun une figure particulière. Chaque sel, chaque métal, chaque pierre a sa cristallisation ; chaque plante, chaque animal a sa forme appropriée qui ne varie pas ; en un mot, tout cristallise dans la nature. La question de la Génération spontanée se réduit donc à savoir si les liqueurs propres à cristalliser pour former un être organique ne peuvent être préparées que chez d'autres corps organisés ; c'est la marche la plus ordinaire de la nature en ces moments-ci. A la première origine des choses, elle a dû en suivre une autre ; il est donc démontré qu'elle pourrait encore l'employer, c'est par conséquent à l'observation à décider si elle y a renoncé absolument. »

Mais Lamétherie est trop impatient pour consulter l'observation. Il développe sa théorie formelle plutôt que de regarder autour de lui ; c'est ainsi qu'il attribue spéculativement à la cristallisation, le « moi », l'âme dirait un spiritualiste, qui se trouve au centre de chaque être, et qui est le lieu de ses sentiments et de ses pensées.

Ainsi éloignée de la Nature, sans contact avec la science qui se forme, la théorie de la cristallisation appliquée aux êtres vivants devient un simple roman logique et métaphysique, une généralisation inutile ou une idée fixe. Opposée par son principe à la science que l'on professait au début du siècle, mais aussi fragile et stérile que la théorie inverse, elle se perd dans des généralités imprécises.

P. N., 1788.

« De même que Tournefort, célèbre botaniste, dira plus tard (1), le *Journal de physique*, voulut que les pierres végétassent ; au contraire, M. de Lamétherie, minéralogiste, rabaissant les animaux et les végétaux, a voulu qu'ils cristallisassent ».

5. Ce renversement de système, même s'il n'indique que les limites extrêmes entre lesquelles a évolué l'esprit scientifique, nous montre que depuis un siècle le point de vue des philosophes est complètement déplacé. L'histoire naturelle ne sert plus de modèle aux physiciens qui voudraient l'englober toute entière dans leurs généralisations ; Bourguet l'a tenté le premier ; si maintenant la science des cristaux exerce de l'influence sur les autres sciences, il n'y a plus aucune action réciproque ; la cristallographie s'est complètement dégagée dans sa partie théorique des préoccupations biologiques qui avec Tournefort la dominaient.

Les descripteurs et les géomètres qui créèrent sa forme moderne se désintéressèrent peu à peu des généralisations nuageuses et trop éloignées des faits, quoique se basant sur la notion des cristaux ; ils recherchent désormais les mesures, les observations précises sur des sujets limités, et s'appliquent à classer rationnellement les corps qui sont dans leur domaine. Ils sont spécialistes et ne cherchent pas à empiéter sur les terrains des voisins ; ils veulent voir avant de raisonner, et préfèrent l'ordre modeste de la nature, au système ambitieux du philosophe. Lamétherie, Guenau de Montbeillard et même Buffon semblèrent à beaucoup des rêveurs d'un autre temps... Que s'était-il donc passé dans la Société, les intelligences individuelles et dans la science elle-même, pour qu'un pareil changement se produise spontanément ?

L'Histoire naturelle n'avait jamais joui d'une pareille vogue, ainsi que nous l'avons vu précédemment par le

1. *J. P.*, 1817.

nombre toujours croissant des ouvrages minéralogiques ; une puissante impulsion guidait l'homme du XVIII^e^ siècle à toujours mieux explorer le sol sur lequel il vit.

A l'érudition livresque d'autrefois avait d'abord succédé la philosophie raisonnante et *a priori* de Descartes qui prétend tirer de l'esprit lui-même l'explication de tous les phénomènes connus ; les mathématiciens et physiciens s'étant emparés de la science voulurent par la seule logique rencontrer l'expérience et parfois la devancer ; ils cherchèrent dans la nature une base, une confirmation et une illustration de leurs théories ; Sténon, Borrichius et Tournefort ne trouvent sur leur chemin aucun fait qui les arrête dont ils remettent la compréhension à une époque ultérieure ou à un savant plus heureux. Cette attitude se modifia et devint plus souple à mesure que les découvertes inattendues des curieux montrèrent l'invalidité des systèmes par trop absolus. Elle laisse cependant des traces, une certaine raideur chez les savants tels que Buffon. En s'opposant à cet auteur, c'est contre elle que lutteront ceux qui refuseront de croire qu'il suffit de penser pour connaître. La plupart se défient de cette méthode qui les attire et les déçoit, ou qui impose ses résultats avec une telle évidence qu'il ne reste plus rien à dire une fois que le Maître à parlé.

Le célèbre chimiste Bergmann (1) résumera bien les griefs de son époque quand il prétendra que la méthode contemplative mène droit à l'orgueil et à la paresse, et il lui substituera des patientes recherches destinées à vérifier ou au moins à justifier les hypothèses naissant des faits actuellement connus !...

On retient pourtant une des idées qui était à la base de la philosophie cartésienne ; c'est que, en dehors des longues études traditionnelles réservées aux savants professionnels, la Science est accessible à toute personne qui cherche sérieusement à l'acquérir. Et comme le goût des

1. Préface de ses travaux.

observations se répand, en même temps que tous découvrent la possibilité de satisfaire facilement leur curiosité, l'on veut apprendre à regarder avant d'apprendre à raisonner. En conséquence, il s'ouvre des cours pour amateurs, il se publie des livres de vulgarisations et des revues dont le succès augmente de jour en jour (1). La science, d'individuelle et déductive deviendra, sociale et descriptive ; les ouvrages ne prétendront plus être des cycles complets et fermés auxquels on ne peut rien ajouter ; au besoin même ils négligeront l'ordre didactique et chaque renseignement isolé trouvera sa place dans un dictionnaire alphabétique. Chacun pour collaborer à l'œuvre de tous, essayera de déchiffrer quelques lignes du Grand Livre de la Nature. L'activité s'exercera dans toutes les directions à la fois ; on recherchera en particulier tous les fossiles de la terre pour les classer, les collectionner, les comparer.

Les cabinets d'histoire naturelle deviendront de plus en plus riches, et l'on en dressera des catalogues méthodiques ; les pierres figurées d'origine organisée s'y trouveront à côté des cristaux et le premier soin des savants consistera à les séparer. Beaucoup d'amateurs verront immédiatement que ces différentes curiosités ne présentent rien de commun. Bourguet par exemple, ne perd pas son temps à se demander si oui ou non les bélémnites sont des restes d'animaux ; il recherche méthodiquement de quels animaux ils proviennent. Barrère (2) posera que puisque « une pierre figurée à proprement parler est une pierre qui exprime exactement à plat, en creux, ou en relief, les traits de différents corps organisés, elles en proviennent véritablement. Il n'est donc plus question, dit-il, dans l'examen des pierres figurées que l'on a découvertes jusqu'ici, et de celles que l'on pourra découvrir à l'avenir que de déceler dans quelque animal ou dans quelque plante, certains traits caractéristiques qui peuvent rendre

1. Voir pour détails D. Mornet.
2. 1745.

témoignage de leur origine ». Il ne faudra pas hésiter, « en regardant les pierres figurées de ce point de vue, d'exclure de ce genre les stalactites de toutes sortes, les pierres de Florence, certaines agathes, quelques ardoises ramifiées et une infinité d'autres ».

Mais ces pétrifications d'animaux ou de végétaux sont faites de matières minérales. Comment se sont-elles formées ? Comme les autres minéraux, quoique dans les circonstances spéciales ; leur matière est tantôt du caillou, tantôt du cristal, de la terre, ou du métal, etc. « Le suc pierreux est chargé des parties plus ou moins grosses, pesantes, ténues ou déliées, en sorte qu'elles ne font que s'appliquer seulement sur la surface des corps qu'elles rencontrent, ou bien elles en pénétrent l'intérieur, en passant à travers leurs pores sans que leur configuration naturelle en soit dérangée. »

Quand, donc, Barrère voudra établir la classification des pierres figurées, il ne pourra se dispenser de rappeler que les cristallisations régulières comme elles, leur sont chimiquement analogues. « On pourrait créer d'autres classes de pierres qui approchent en quelque sorte des pierres figurées qu'on ne doit cependant point rappeler à une même origine ; ces classes comprendraient les pierres taillées à facettes, les pierres figurées extérieurement, les pierres veinées et variées avec quelque sorte de régularité. »

Les recherches nombreuses qui suivirent et qui contribuèrent à séparer définitivement la paléontologie de la minéralogie sont en dehors de notre sujet ; nous n'avons pas à parler du labeur incessant des savants, qui laissant aux oisifs les stériles discussions de principes, s'appliquèrent à reconstituer patiemment avec les documents incomplets et mutilés que sont les pétrifications, l'aspect des êtres successifs qui nous ont précédé sur le globe ; cet effort rejoint les théories de la formation de la Terre qui étaient alors en vogue ; il aboutit vers 1775 aux célèbres

Epoques de la Nature. Buffon fait la synthèse, en un langage splendide, des travaux de ces devanciers en même temps qu'il indique clairement la marche des progrès à venir. Un fait est désormais acquis à la Science ; c'est que les coquilles fossiles et la plupart des figurations sont les restes d'animaux ou de plantes dont il ne reste plus qu'à déterminer l'espèce, et qui n'intéressent pas en conséquence la science des cristallisations. Les minéralogistes qui l'ont compris sont restés systématiquement au seuil de cette nouvelle voie qui s'écartait de la leur ; ils n'interviennent que pour lutter contre certaines conceptions surannées qui en voyant dans les pierres figurées un intermédiaire entre la vie et la cristallisation, menaçaient de prolonger quelques dangereuses confusions.

Bertrand n'a-t-il pas prétendu dans ses *Usages des Montagnes* (1) que si « les fossiles ressemblent aux animaux ou aux végétaux, ils n'en furent cependant jamais : ils ne devaient pas en être, mais ils furent faits pour être et demeurer fossiles, et faire comme le point de réunion entre le règne minéral et les autres règnes». Il ne tient pas comme établies ces hypothèses conjecturales qu'il abandonne sans peine à qui pourra les attaquer et qui voudra les renverser. L'adversaire ne se fait pas attendre ; Guettard (2) démontrera que ces théories fantaisistes supportent à peine l'examen ; il les détruit par son œuvre. Et plutôt que de s'appesantir à justifier le bien-fondé de ses recherches, il poursuit ardemment son but et découvre de nouvelles empreintes... (3) Le dictionnaire oryctologique de Bertrand paru peu après, attribue sans discussion aux fossiles étrangers à la Terre une origine organisée, qui les distingue des fossiles naturels de la Terre, tels que le cristal de roche, les minerais et les stalactites, créés malgré leur régularité par le seul jeu des forces naturelles.

1. Zurich, 1754.
2. A D S, 1754.
3. La Haye, 1763.

Les rêveries de Robinet (1) eurent dans un certain public plus de succès. L'auteur s'inspire en l'amplifiant du système de Tournefort que l'on commençait à oublier, et que les revues scientifiques (2) ne prennent plus tout à fait au sérieux. Son imagination lui représente avec précision dans la structure des fossiles, tels que coquilles, os, bois pétrifiés, talcs, ardoises, pyrites, « des bouches infinies en nombre par lesquelles les minéraux prennent leur nourriture ; il distingue même dans ces pierres les germes, les enfants, les adultes. On prend, dit-il, ordinairement pour une pyrite en grappes, des embryons pyriteux qui croissent les uns après les autres portés sur une pyrite mère ». Même affirmation à propos du cristal de roche qui n'aurait une forme constamment régulière s'il n'était organisé comme les animaux ; aussi décide Robinet, les pierres angulaires se reproduisent par semences. Ces généralisations faciles et audacieuses qui purent séduire le grand public, ne font qu'irriter les savants qui tiennent à réduire à néant les affirmations du publiciste. Romé de l'Isle prendra à cœur d'en montrer le mal fondé. « Les formes régulières et constantes, concède-t-il, rencontrées dans certains corps du règne minéral, ont une cause efficiente ; mais qu'elle est cette cause? Admettrons-nous avec l'auteur du livre intitulé : *De la Nature*, des semences, des graines, des œufs dans le règne minéral, comme dans les deux autres règnes ? Cette idée a quelque chose d'éblouissant et paraît même simplifier, le plan de la Nature en supposant que tous les êtres se reproduisent par voie de génération et d'une manière uniforme quoique diversement modifiée : mais une pareille assertion est trop contraire à l'expérience pour pouvoir être admise. En vain, cet autre cite l'exemple du cristal de roche ; sa forme constamment hexagone n'a rien de plus merveilleux que celle du tartre vitriolé. On ne pouvait plus mal choisir que l'exemple de *l'astroïte* et de la *numisnale*, qui sont

1. *De la Nature*, 1761.
2. J. P.

des pétrifications, pour prouver que les pierres ont des vaisseaux fibreux, des glandes miliaires, enfin un appareil organique, propre à se nourrir et à croître par intussusception, tandis que rien n'est plus démontré que l'accroissement des substances du règne minéral par juxtaposition. »

6. Le jugement de Romé de l'Isle est analogue à celui de tous les minéralogistes spécialistes, qui dès le début de leur ouvrage ont le souci de circonscrire leur sujet, et de montrer que les corps dont ils s'occupent sont différents de ceux qu'étudient botanistes ou zoologistes. Gautron de Robien (1) affirme qu'il n'y a aucune analogie entre la formation fibreuse des végétaux et la structure simple des minéraux. Wallérius (2) reconnaît que les cristaux grandissent ainsi que les animaux, mais suivant un mode tout différent ; ce n'est que si l'on définit la vie par la seule faculté de croître que l'on pourra prétendre que les minéraux sont vivants. Cronstedt (3) discute la question dans toute sa généralité et aboutit à des conclusions analogues ; il faut toutefois remarquer que s'il est difficile de savoir quels sont les caractères spécifiques des trois règnes de la nature, c'est que les mots dont on se sert pour les peindre sont imparfaitement définis. Bonnet (4) est étonné de la discontinuité que l'on remarque entre les êtres organisés et les corps bruts ; la nature semble sauter des uns aux autres ; cela n'est probablement qu'une apparence « qui disparaîtra, sans doute quand nos connaissances auront acquis plus d'étendue et de précision ».

Cette différenciation des trois règnes de la nature n'est même pas examinée dans la plupart des travaux de minéralogie ; ni Valmont de Bomare, ni Sage, ni Bergmann, ni Monnet, ni Daubenton, ni Haüy ne s'en sont préoccupés ;

1. Paris, 1751.
2. 1753 (voir introduction).
3. *Minéralogie*, 1re éd,. 1753. Français, 1771.
4. *Contemplation de la Nature*, 1764.

c'est une question sans importance que les descripteurs rencontrent à la préface de leur Science, qu'ils tranchent d'un mot ou qu'ils négligent.

La Science de la vie et celle des cristaux si elles deviennent toutes deux plus morphologiques et plus descriptives, si elles s'absorbent avec Cuvier et Haüy dans l'étude des classifications, se développeront indépendamment l'une de l'autre, et n'essayeront plus de se modeler l'une sur l'autre.

Romé de l'Isle montre qu'au point de vue géométrique même, l'organique et l'inorganique n'ont véritablement rien de commun. « La ligne droite, dit-il, est particulièrement affectée au règne minéral ; en effet, les cristaux ne prennent la ligne courbe que par leurs réunions en groupes plus ou moins confus. Si l'on excepte ces sortes de groupes, les corps arrondis par le frottement, et enfin les corps fluides ou précédemment en fusion, tout autre qui dans ce règne offre une forme arrondie, globuleuse, ovoïde, sinueuse ou contournée ne la doit qu'aux substances animales ou végétales qu'il a pénétrées ou dans lesquelles il s'est moulé. Dans le règne végétal, la ligne droite se rencontre encore assez fréquemment, mais toujours accompagnée de la ligne courbe... Enfin, dans les substances animales, encore plus composées que les végétaux, la ligne courbe est la dominante. »

La cristallographie désormais indépendante de la biologie poursuivra ses destinées propres comme une science autonome.

SECTION III

La cristallographie se détache peu à peu des sciences physiques.

1. — Influences réciproques des sciences physiques et naturelles pendant le XVIII[e] siècle. — Généralités.
2. — Les théories de la congélation de l'eau. — Théories mécaniques de Descartes. Il ne voit aucun rapport entre la fusion et la dissolution, entre la congélation et la cristallisation. — Théories chimiques. — Nehemiaw Grew. — Le père Lana. — La formation de la glace d'après Borrichius ; pesées précises et rigoureuses. — Recherches expérimentales de l'académie de Florence. — Leur grande valeur et leurs résultats. — La *Dissertation sur la glace* de Mairan. — Elle établit l'unité des phénomènes cristallographiques.
3. — Etudes des cristallisations salines. — Théories chimiques de Homberg. — Sa répercussion sur les sciences naturelles. — Théorie corpusculaire de Leewenhoec. — Ses recherches microscopiques. — La théorie de Lémery quoique de forme cartésienne se ressent. des dernières découvertes au microscope. — Recherches expérimentales de Petit. — Le comte de Marsili et les théories lamellaires.
4. — L'œuvre de Bourguet. — Les tendances nouvelles qui s'y manifestent. — Applications de la loi de Newton. — Elle n'aboutit à aucune précision mais établit l'unité de la science — A l'opposé recherches de laboratoire. — Stahl ne s'éloigne pas de l'expérience
5. — L'œuvre expérimentale de Rouelle. — Classification des sels d'après leurs formes cristallines et leur cristallisation. — L'eau de cristallisation. — Les différentes sortes de dépôt des solutions par évaporation. — Etudes du sel marin. — Macquer vulgarise les théories de Rouelle.
6. — Guyton de Morveau et les « digressions académiques ». — On sent dans cet ouvrage les trois tendances mécaniques, corpusculaires et expérimentales de la science du XVIII[e] siècle. — Sa théorie de la cristallisation fait peu à peu place à l'étude de la structure.
7. — Les deux courants scientifiques de la fin du XVIII[e] siècle. — La philosophie et les généralisations. — La cristallisation sert de modèle aux théories de la combustion. — Le phlogistique. — Baumé, l'attraction et la répulsion. — Expériences. — Réfutation de l'interprétation de ses expériences par Lavoisier. — Théories de Lavoisier. — Nicolas Le Blanc et la cristallotechnie. — Recherches sur les relations d'équilibre entre les milieux cristallins et les milieux cristallogènes. — Lamétherie et « la cristallisation universelle » : tous les phénomènes sont dus à la cristallisation de la matière. — Lois chimiques et physiques de la cristallisation.

8. — La formation de la cristallographie géométrique. — L'œuvre de Romé de l'Isle dans ses rapports avec les sciences physiques. — Elimination des théories de la cristallisation. — Dédain de la chimie. — Loi de constance des angles dièdres. — Abstraction de la mécanique remplacée par la description. — L'œuvre d'Haüy. — Analogies et différences de sa méthode et de la méthode cartésienne. — Exposé de cette théorie. — Les particules intégrantes. — Les particules soustractives. — Lois de symétrie. — Loi des troncatures rationnelles.

1. La cristallographie, pour devenir purement descriptive, mathématique et formelle, avait dû éliminer de son domaine, nous l'avons vu, — aussi bien les comparaisons aventureuses qui assimilaient la formation des pierres, des cristaux de roches et des autres gemmes, aux phénonèmes variés de la vie, naissance, accroissement, nutrition des êtres, — que les théories plus ou moins vraisemblables qui voulaient plutôt deviner la genèse des minéraux cristallisés qu'établir les relations géométriques des différentes formes cristallines ! cette science qui se propose maintenant de montrer que les figurations des cristaux peuvent se déduire logiquement de quelques solides très simples symétriquement tronqués, ne songe plus à entrevoir le mécanisme même de la cristallisation qu'elle avait cru atteindre autrefois dans son ambitieuse ignorance ! Les naturalistes s'aperçurent à la suite d'échecs répétés, qu'avant de disserter sur les faits, il fallait les avoir étudiés — et embarrassés par la richesse indéfinie de la Nature, ils cherchèrent à bien décrire avant de songer à bien penser ; leur méthode d'abord dédaignée s'imposa finalement aux physiciens et aux chimistes, qui eux aussi dans leur laboratoire rencontrent des cristallisations.

Après avoir longtemps tenté d'expliquer par une hypothèse simple, le passage de l'état fluide à l'état solide, ainsi que la forme régulière du cristal formé, ces derniers se laisseront guider par les minéralogistes descripteurs et observeront avant de raisonner ; nous les verrons résister ou céder au courant méthodologique, dû au succès des sciences naturelles et qui poussait les esprits vers la

précision de la connaissance, au dépend de sa généralité.

Pour comprendre les aspects successifs, que la notion de cristallisation présente en un peu plus d'un siècle, nous devons nous souvenir que, la science était pendant la période que nous étudions sous la dépendance immédiate des philosophies abstraites qui régnèrent chacune à leur tour. Dès le milieu du XVII[e] siècle, suivant la méthode cartésienne, chaque problème scientifique, au lieu de se rattacher, comme il le fera plus tard, à des données bien définies occupant une place connue dans la hiérarchie des connaissances, sera considéré comme immédiatement résoluble par la mécanique générale.

Le savant d'alors s'intéressait peu à la chimie, et ne soupçonnait pas même les complexités de l'analyse et de la synthèse, — il croyait d'un seul effort de pensée atteindre l'essence de toute matière, et ne songeait guère à vérifier expérimentalement ses hypothèses *à priori*. Il ne prend pas les faits comme guide car il les explique de loin — ceux qui attirent son attention sont les plus généraux, les plus constants, qui s'observent le plus facilement sans aucune préparation technique.

Certains phénomènes, parmi ceux-là, sont particulièrement étudiés et tiennent dans la philosophie scientifique d'alors une place prépondérante — la congélation de l'eau par exemple qui joue un si grand rôle dans la Nature, et que nombre de minéralogistes croient être l'origine des cristaux de roche et de la plupart des pierres est un des sujets sur lesquels la curiosité humaine se porte le plus complaisamment et qui sert pour ainsi dire de modèle à l'interprétation de toutes les autres solidifications ; on l'aborde de tous côtés et par tous les moyens. La mécanique, la physique, la chimie, et même la métaphysique sont mises à contribution pour expliquer la formation de la glace et les résultats obtenus sont parfois généralisés à toute la cristallographie. Nous allons exposer d'abord quelles idées directrices inspirent ces études spéciales

avant de donner une vue d'ensemble des travaux de laboratoire.

2. Descartes (1) très frappé de la « figure prodigieusement régulière » des belles fleurs héxagonales de la neige dont la symétrie est si parfaite qu'on les prendrait au premier abord pour un travail d'artiste, croit pouvoir montrer qu'elles ne sont dues qu'à l'arrangement nécessaire que prennent les particules d'eau en se solidifiant au milieu des nuages ; il donne donc une théorie mécanique de leur formation ; il ne s'intéresse pas au passage de l'état liquide à l'état solide, mais uniquement à l'origine des figurations qui nous frappent. Si d'après lui les grains durs et irréguliers de la grêle peuvent être attribués à des actions météorologiques diverses et inconstantes, il n'en est pas de même de la neige qui a pris naissance dans des conditions particulièrement calmes laissant aux petites particules d'eau tout le temps nécessaire à la confection de leurs édifices.

Supposons donc, pour nous représenter le mécanisme de sa formation, que des nuées de glace, ou plutôt de pelotons de glace extrêmement petits et couverts de poils qui se trouvaient précédemment dant les hautes et froides régions de l'atmosphère se rapprochent peu à peu de la terre ; supposons que ces nuées, dans leurs périgrinations, rencontrent un courant d'air tiède qui les dégèle partiellement ; supposons que la chaleur fournie par ce courant d'air se soit rapidement épuisée à fondre quelque peu ces masses compactes et que son action ne soit pas d'assez longue durée pour empêcher les gouttes d'eau de se solidifier à nouveau en se rapprochant les unes des autres ; ces gouttes ont la forme sphérique, et nous savons que six cercles égaux décrits autour d'un septième le toucheront ou se toucheront entre eux. C'est ainsi que les gouttes d'eau s'assemblent par six autour d'une de leur semblable pour former un fleuron héxagonal ; ce fleuron, au contact des

1. *Les météores.*

parcelles de glace qui se trouvent dans le milieu environnant, gèle à nouveau et tombe lentement sur le sol sans subir de transformations nouvelles.

Cette théorie ingénieuse satisfait à première vue l'esprit puisqu'elle est répétée sans changements par Erasme Bartholin (1) qui a longuement étudié les formes des fleurs héxagonales de la neige.

Cependant elle ne s'applique qu'à un cas particulier et elle n'est pas susceptible de généralisation ; elle ne pourra servir de modèle à une théorie générale des dissolutions et des cristallisations aqueuses, et pourtant il est du plus grand intérêt pour le météorologiste de savoir par exemple comment un. corps solide tel que le sel marin devient liquide au contact de l'eau de pluie qui le dissout. Pour expliquer ce phénomène, Descartes invoque une théorie corpusculaire et mécanique ; il suit mentalement toutes les phases du mélange progressif du sel et de l'eau qui formeront tout à l'heure un tout absolument homogène ; il ne nous laisse ignorer aucun détail du phénomène ; sa synthèse est faite comme toujours d'une analyse plus ou moins précise, retournée en sens inverse ; il semble deviner ce qu'il observe, ou du moins les observations qui ont été l'occasion de la construction de ses hypothèses ne sont présentées que comme leurs conséquences lointaines!

Il supposera donc « que l'eau, la terre, l'air et tous les corps qui nous environnent sont composés de plusieurs parties de diverses figures et grosseurs » ; ces matières différentes mises en contact ne se pénètrent que quand la forme des particules constituantes se prêtera à former par leur superposition un édifice stable. Dans le cas contraire, quand les molécules présenteront des incomptabilités géométriques, elles restent nettement séparées, comme cela se voit dans le cas des huiles et autres liqueurs grasses qui ne se mélangent jamais à l'eau.

1. 1661.

Les grosses particules de sel, au contraire, restent mêlées avec les particules aqueuses beaucoup plus fines pour former de l'eau de mer. « Et la raison en est que celles du gros sel commun sont également grosses par les deux bouts, et toutes droites, ainsi qu'autant de petits bâtons : car s'il y en a jamais eu dans la mer qui fussent plus grosses par un bout que par l'autre, ayant été par le même moyen plus pesantes, elles ont eu tout loisir d'aller au fond depuis que le monde est... » Ainsi ces particules ne restent à leur place primitive que par raison de symétrie, parce qu'aucune force ne les sollicite à tomber soit à droite, soit à gauche ; les molécules de l'eau commune forment avec elles un composé homogène, « elles se collent autour de celles du sel, lorsqu'elles en sont assez proches, et les tenant embrassées, elles empêchent que l'inégalité de leur pesanteur ne les sépare. D'où il vient que ce sel se fond aisément en l'eau douce, ou seulement étant exposé à l'air en temps humide ! Et néanmoins qu'il ne s'en fond en une quantité d'eau déterminée, que jusqu'à une quantité déterminée, à savoir autant que les parties pliantes de cette eau peuvent embrasser des siennes en se pliant autour d'elles », etc.

La théorie hypothétique que Descartes donne des phénomènes de dissolution ne permet pas d'expliquer la solidification et la cristallisation des substances précédemment dissoutes ; elle s'applique trop précisément aux cas particuliers qu'elle explique pour pouvoir être généralisée à un ensemble de phénomènes ; elle recherche d'ailleurs l'explication plutôt que la précision. Aussi n'exerce-t-elle pas plus d'influence que sa théorie sur la cristallisation de l'eau, uniquement mécanique, elle aussi.

Nehemiah Grew (1) tentera d'expliquer pourquoi les savants qui ont donné une théorie mécanique de la forme constamment héxagonale de la neige n'ont abouti à aucun résultat fécond ; ils ont traité ce problème comme s'il

1. T. P., 1673.

était isolé et sans se soucier de regarder si d'autres corps dans la Nature ne sont doués de la même configuration que la glace ; et pourtant, dit-il, une observation attentive des cristaux de nitre, de sel ammoniac, de sels lixiviels, et des sels résineux, nous montreraient que leurs cristallisations ressemblent étrangement par leur régularité et leur symétrie aux étoiles héxagones de la neige. De là à conclure que ces sels jouent un rôle dans la congélation de l'eau, qu'ils font même partie intégrante de la neige, il n'y a qu'un pas. « On peut inférer donc que la neige se forme de la manière suivante : supposons que chaque goutte de pluie contient quelques particules spiritueuses, comme semble le prouver la hauteur à laquelle elle se sont élevées (pour former les nuages)... ces particules spiritueuses, en descendant vers la terre, peuvent en rencontrer d'autres qui soient en parties nitreuses, et en plus grandes parties résineuses, ou enfin d'une nature acido-saline ; celle-ci saisiront les parties spiritueuses de la goutte et entraîneront aussi ses parties aqueuses, de sorte que la goutte prendra une forme déterminée par la propriété des éléments qui la composent. »

Or, il se trouve justement que les premiers corps cristallisés qui attirent l'attention des observateurs, le quartz, le nitre et la glace, ont une forme héxagonale ; cela conduit le savant sinon à admettre l'existence d'un « principe géométrisant » qui imposerait sa figuration à tous les cristaux, du moins à croire que ces substances ayant des propriétés communes, contiennent un principe matériel commun. Voilà la chimère qui troublera la cristallographie naissante et qui en masquera pendant quelques temps les progrès ; voilà l'erreur fondamentale que le courant descriptif de la fin du XVIII[e] siècle fera disparaître des préoccupations scientifiques, sans en montrer la fausseté. Avant d'être oubliée, elle sera répétée par un grand nombre de naturalistes et de philosophes.

C'est cette hypothèse qui conduisit le père Lana a décla-

rer que le nitre et la glace contribuent par leur « coagulation » à donner une figure à la matière du cristal de roche, qui se coagule elle-même dans les régions où ils se rencontrent ; c'est cette hypothèse qui servit à Linné pour établir un plan de classification des cristaux, basée sur la considération des formes, car il supposa qu'un même sel impose sa géométrie à toutes les cristallisations semblables, et qu'en connaissant les figurations des corps, nous devinions par cela même leur composition !

C'est cette hypothèse encore que Romé de l'Isle invoqua lorsqu'il tenta d'établir la loi de constance des angles dièdres, qu'il présenta tout d'abord comme une conséquence vérifiable du théorème hypothétique qu'il avait posé. Tous les cristaux de même forme sont chimiquement analogues, les progrès de l'analyse le mettront un jour en lumière ! Ainsi la première découverte qui permit à la cristallographie de prendre rang parmi les sciences exactes eut son origine dans un point de vue abusif, qui disparut peu à peu des préoccupations des savants.

L'étude de la congélation de l'eau mit les physiciens sur la voie de recherches très différentes[1] ; Borrichius qui croit que toutes les pierres sont formées d'eau solidifiée, s'intéresse particulièrement à la formation de la glace, qui pourrait peut-être lui fournir le secret de la lapidification ; mais, il est aussi scrupuleux observateur qu'hardi théoricien ; il abandonne pour un moment toute prétention hypothétique, toute généralisation invérifiable quand il se tient sur le solide terrain expérimental.

A quoi peut-on attribuer, demande-t-il, le passage de l'état liquide à l'état solide ? Seule l'expérience bien consultée répondra à cette question ; c'est elle qui se chargera de réfuter certaines opinions étranges : quelques personnes par exemple, constatant la dilatation qui se produit au moment de la congélation, « s'imaginent qu'il part des hyades certaines particules frigorifiques qui en s'intro-

1. A. de Copenhague, 1675.

duisant pendant l'hiver dans les pores de l'eau en forment une masse solide ». Or l'adjonction d'un corps étranger, insensible à la vue, et qui suffirait par son action à rendre l'eau dure et solide se manifesterait au moins à la balance — cela est faux. Le poids d'un récipient reste constant si l'eau qu'il contient, exposée au plus grand froid, se transforme peu à peu en glace ; — de même, il ne varie pas quand la glace fond à la température tiède des maisons. Que conclure de cela. Evidemment, dit Borrichius, « que l'eau qui n'est pas exposée à l'action d'aucune chaleur, tend d'elle-même à perdre sa fluidité et à devenir glace».

N'est-il pas curieux de constater que « l'invariabilité de la masse » sur laquelle Lavoisier construira plus tard l'édifice solide de la chimie moderne soit invoquée dès la fin du XVII[e] siècle à titre de vérité évidente et indiscutable ? Il est vrai qu'à cette époque la notion de matière n'était pas suffisamment précise pour que l'on songe à tirer grand parti de cette constante ; il est vrai aussi que cette loi n'était exprimée que sous une forme négative, utilisable peut-être à écarter certaines erreurs, non à établir des vérités.

Les travaux systématiques de l'Académie de Florence (1), s'ils ne nous montrent le pressentiment d'aucune doctrine que la science mettra un jour en pleine lumière, pourront cependant toujours être cités comme des modèles de rigueur expérimentales, de précision et de justesse. Les savants qui travaillent en commun ne se laissent pas éblouir par le mirage d'une idée, et veulent simplement, scrupuleusement, observer les circonstances du passage de l'eau liquide à l'eau solide. Ce qu'ils ont découvert a été immédiatement acquis par la physique et n'a plus jamais été remis en discussion.

Pour pouvoir suivre des yeux le mécanisme de la congélation, ils placent l'eau à geler dans un vaisseau en verre transparent, posé lui-même au milieu d'un mélange

1. 1670 et années suiv.

réfrigérant de glace et de sel qui produit un froid suffisamment grand.

Ils observent les détails du refroidissement et notent :

1° *L'état naturel,* c'est-à-dire la hauteur à laquelle l'eau parvient dans le tube avant qu'il soit placé dans le réfrigérant.

2° *Le saut de l'immersion,* qui est la première saillie de l'eau qui monte quelque peu dans le tube quand celui-ci touche la glace. Cette dilatation apparente, due comme nous le savons depuis Amontons(1)à la contraction immédiate du verre, les savants l'attribuent plutôt à des causes externes qu'ils ne précisent pas qu'à des causes internes.

3° *La descente* de l'eau qui se contracte peu à peu en se refroidissant, mais qui s'arrête subitement quelques instants de descendre ayant atteint un niveau plus bas et minimum appelé *repos.*

4° *L'ascension* de l'eau qui se dilate en continuant a se refroidir, et dont le niveau remonte dans le tube par un mouvement lent et semblable en sens contraire à celui par lequel elle se condensait.

5° *Le saut de la congélation* qui marque le degré auquel l'eau s'élève avec une grande vitesse au moment de sa congélation ; la dilatation est parfois si grande que les tubes très pleins et hermétiquement bouchés sont brisés.

Les académiciens ne se contentent pas de ces approximations bien observées ; ils constatent que les variations du niveau de l'eau, toujours constantes dans les tubes de même forme, correspondent à des différences de température que les thermomètres indiquent comme également constantes ; de multiples répétitions de la même expérience leur permettent de préciser quelques chiffres. Toutefois nous devons remarquer qu'ils considèrent la formation de la glace comme un fait isolé, et qu'ils ne s'avisent pas de signaler les analogies superficielles ou profondes entre toutes les solidifications : cristallisations ou congélations.

1. A D S, 1705.

Nous pouvons négliger de signaler les travaux épars, plus ou moins ingénieux mais sans vue d'ensemble que pourrait nous fournir la littérature scientifique du XVII[e] siècle finissant, pour nous arrêter longuement à l'intéressant effort que fit un peu plus tard Dortous de Mairan(1), quand il tenta de généraliser à toutes les cristallisations, sa théorie de la congélation.

La *Dissertation sur la Glace* que l'auteur ne cessa pendant plus de trente ans de perfectionner et de rectifier, fut récompensé dès son apparition par l'Académie de Bordeaux. C'est un des produits les plus caractéristiques de la philosophie ou plutôt de la méthode cartésienne appliquée à la science. Une hypothèse mécanique et féconde, rend compte *à priori*, des moindres détails que l'observateur rencontre, et elle est prête à s'élargir pour contenir l'explication totale du système du Monde.

La vérification que l'expérience donne du raisonnement, comme l'explication que la pensée donne de l'expérience, ne suffisent-elles pas par leur accord à nous rassurer sur la valeur de nos déductions à première vue hypothétiques? L'observation vérifie et justifie les vues de l'esprit qui ont permis de la prévoir et ces deux moyens de connaître éclairent simultanément le savant. Ainsi, dit-il, « une exacte théorie de la formation de la glace doit fournir l'explication particulière de ses principaux phénomènes, comme réciproquement l'explication des phénomènes doit répandre sur la théorie un nouveau jour et un nouveau degré de probabilité ».

Cette théorie, la voici : les liquides que nous connaissons ne sont pas des corps homogènes ; leurs parties intégrantes qui glissent les unes sur les autres quand la masse est remuée sont séparées et entourées par des molécules de matière subtile extrêmement agitées, « comme autant de petits tourbillons ou ballons qui tournent autour de leur centre ou de leur axe avec une rapidité indéfinie ».

1. 1716 à 1749.

Cette matière subtile qui empêche les parties intégrantes d'un liquide de se souder pour former un corps dur et massif, n'est pas assez puissante pour leur faire perdre leur cohésion, et leur laisse une certaine viscocité au lieu de les transformer en vapeurs ; les parties intégrantes des liquides ne sont d'ailleurs pas absolument dénuées de pesanteur ; elles se rassemblent dans le fond des vases et n'ont pas de tendance à se répandre dans l'espace qui les entoure. Quelques liquides cependant, « ceux qui sont fort spiritueux, dont les parties intégrantes sont noyées dans la matière subtile sans se toucher entre elles que rarement et par de très petites surfaces, sont en même temps l'exception et la preuve des affirmations précédentes, puisqu'ils s'exhalent et se dissipent d'eux-mêmes, si l'on ne bouche exactement le vaisseau qui les renferme ».

Ainsi toute la masse liquide est sujette à subir des mouvements continuels ; ce sont d'ailleurs ses parties intégrantes spécifiques qui s'y meuvent avec le moins de vitesse ; la matière subtile qui coule entre leurs interstices est beaucoup plus agitée ; enfin la matière subtile extérieure au système et qui fait pression sur lui a une agitation énorme « et une vitesse dont on peut se faire une idée par les effets qu'elle produit dans la poudre à canon, dans le tonnerre et vraisemblablement dans l'électricité »...

« Que nous reste-t-il maintenant à comprendre, s'écrit Dortous de Mairan, pour savoir de quelle manière se fait la congélation ? Voulez-vous faire de la glace, c'est-à-dire, voulez-vous changer un corps liquide en corps solide ? Chassez une partie de la matière subtile qui coule entre ses interstices, diminuez son mouvement, ou affaiblissez son ressort, en sorte qu'elle ne puisse plus vaincre la résistance des parties intégrantes du liquide — c'est tout ce que fait le froid — et vous aurez de la glace. » Réciproquement d'ailleurs, comme nous pouvions le prévoir, la glace ne se résout en eau que quand la matière subtile peut à nouveau la pénétrer en augmentant son activité que le

froid avait engourdi ; et c'est proprement l'action de la chaleur ! Ainsi les particules calorifiques ou frigorifiques, que beaucoup croient être des substances matérielles, n'ont pas besoin d'être invoquées pour expliquer rationnellement la congélation ; elles ne sont jamais mises en évidence et ne correspondent à rien de réel ; le physicien n'en a que faire et les relègue parmi « les chimères enfantées par l'imagination » que les progrès des sciences rendent désormais inutiles.

Une analogie remarquable entre la congélation et l'ébullition est mise en lumière par la théorie de Mairan ; ce dernier phénomène est dû, nous le savons, à l'évaporation des particules intégrantes du liquide lui-même ; la congélation se fait par un mécanisme semblable, due à l'évaporation des molécules de matière subtile. Mais, direz-vous, comment la matière subtile peut-elle quitter le corps qui la retenait et avec lequel elle formait précédemment un tout homogène ? C'est, répond-on, à cette objection, que le froid engourdit la matière subtile ; si nous transportons un liquide tiède dans un lieu froid, il se créera un déséquilibre entre la matière subtile qui y est renfermée, et celle qui se trouve répandue dans le milieu environnant ; d'où échappement d'une partie de cette matière subtile, accompagnée d'une diminution de volume du liquide et de son refroidissement.

Si l'eau ne se transforme en glace qu'au contact d'un milieu froid susceptible de recevoir un excès de matière subtile, la glace ne se liquéfie qu'au contact de corps plus chauds susceptibles de laisser leur matière subtile s'évaporer et pénétrer dans les milieux environnants ; le point de fusion correspond au point de congélation ; « la glace qui commence à fondre et l'eau qui commence à se geler, ont même degré de froideur » ; l'expérience montre toutefois que l'eau dans certaines conditions de tranquillité reste liquide au-dessous de la température à laquelle elle se transforme généralement en glace ; dans ce cas la théorie se trouve confirmée par les faits, l'eau diminuera

de froideur dès l'instant de sa congélation, provoquée par une cause quelconque. La nouvelle glace se réchauffera et atteindra presque la température du point de fusion; cette notion de surfusion que la physique de la formation des cristaux a approfondie depuis, Mairan l'indique dans les grandes lignes; il ne s'y appesantit point, et se contente de faire remarquer qu'elle ne contredit pas son système.

Il est donc maintenant établi qu'il n'y a de « véritable cause, de cause immédiate de la congélation autre que celle que nous venons d'entrevoir »; de même, il n'y a pas d'autre cause de la fusion que la pénétration d'un solide par la matière subtile. Ce dernier point demande une explication; tout le monde sait, en effet, que le sel marin par exemple et la glace mélangés et mis en contact intime se fondent mutuellement en produisant un grand froid; eh bien, ce phénomène paradoxal, qui au premier abord semble en contradiction avec la théorie, nous aurions dû le prévoir avant que l'expérience vienne nous l'indiquer; les molécules pointues de sel écartent çà et là les particules de l'eau glacée; elles en détruisent la contiguïté et « font en un moment ce qu'une assez grande quantité de chaleur ne ferait qu'en un temps considérable ». Leur action dissolvante est beaucoup plus rapide que celle de la matière subtile infiniment moins pénétrante; mais la liquéfaction de l'eau privée de matière subtile attire la matière subtile du milieu environnant et par cela le refroidit. Le mélange de sel et de glace pourra donc être utilisé comme mélange refrigérant susceptible même de provoquer la congélation de l'eau pure, isolée de lui par une mince couche de verre; les savants ont supposé pour expliquer ce phénomène des échanges mystérieux de matière entre le réfrigérant et le corps refroidi; nous pouvons nous passer de leurs inutiles hypothèses. La théorie de la « matière subtile » explique complètement l'expérience et tire de son accord avec elle une vraisemblance qui ressemble à une vérification.

Si maintenant, abandonnant la théorie de la congélation et de la fusion, nous observons « les phénomènes de la glace dans ses commencements et pendant tout le cours de sa formation, » nous voyons avec étonnement que « l'eau commence à se geler par des filets vers sa superficie ». Comment expliquer cette anisotropie que rien ne nous permettait de prévoir ? Il n'y a pas, dit Mairan, « de corps dans la nature qui soit si parfaitement uniforme qu'il n'admette quelque interruption ou quelque inégalité dans ses parties... les liquides ne sont pas exempts de cette loi générale... un petit amas de ces parties moins mobiles, plus raboteuses, ou plus près les unes des autres, forme le premier glaçon ; ce premier glaçon formé, les parties voisines doivent s'y rattacher »... Là encore, nous sommes surpris ! les filets de glace, au lieu de s'accrocher les uns aux autres, comme nous nous y attendions, en peloton autour du premier formé, se posent à ses extrémités parallèlement à leur allongement pour former des plus grands filets semblables géométriquement au premier : « d'où il est naturel de croire que les parties intégrantes de l'eau sont oblongues, de la même manière, observe Mairan, qu on conjecture les configurations des parties intégrantes des sels d'après les cristallisations salines ; il est clair par exemple qu'un paquet d'une vingtaine de bâtons de cire d'Espagne ou de fuseaux laisserait plus de passage à l'air, selon sa longueur que selon sa largeur. De même, les premiers glaçons qui ne sont autre chose que de semblables paquets en petit, laissant beaucoup plus d'ouverture à la matière subtile suivant leur longueur que selon leur largeur, doivent se joindre entre eux, bout à bout, plutôt qu'en aucun autre sens ».

Voici encore une découverte étonnante ; nous avons dit précédemment que la diminution de la matière subtile amenait de toute évidence une contraction notable du corps qui se refroidit. Eh bien ! nous constatons au contraire que l'eau augmente considérablement de volume en se congelant. Allons-nous douter de l'exactitude de nos théories

préliminaires? point du tout. Plusieurs phénomènes spéciaux à l'eau se sont probablement superposés au phénomène principal qu'ils ont complètement masqués ; ceci posé « il faut donc que le changement qui arrive au liquide à cet égard pendant la congélation, consiste en quelques dispositions, soit de l'eau, soit de l'air qui y est contenu. différentes de celle qui y était auparavant ».

Quelles sont les dispositions nouvelles que prend l'eau en se congelant? Tout d'abord, la glace dans sa formation englobe d'innombrables petites bulles d'air, ce qui augmente sensiblement le volume du nouveau solide; cet air tente de s'échapper et se déplace dans la masse compacte qui se solidifie; il éloigne les unes des autres les particules intégrantes d'eau entre lesquelles il circule, et par là tend à dilater l'ensemble; enfin, la cause principale de l'augmentation du volume de l'eau au moment de sa congélation provient de la tendance qu'ont ses parties à s'assembler sous un angle de 60 degrés, au lieu de se rapprocher comme dans l'état liquide.

Cette dernière affirmation n'est pas une simple conjecture. « Une infinité d'observations et d'expériences ont persuadé Mairan que les particules de l'eau qui se glace tendent à s'assembler ensemble par leurs filets sensibles sous un angle de 60 ou 120 degrés qui en est le complément à deux droits, et cela quelquefois avec une justesse que la plus exacte pratique en géométrie ne saurait surpasser. » Il vérifie ce qu'il avance avec un étalon de cet angle qui en est l'exacte mesure. Trois arcs de cercle qui se coupent réciproquement et sous une même ouverture donnent un triángle équilatéral dont on sait que chaque angle vaut 60 degrés; ce triangle, construit en métal ou en carton, a été appliqué milles fois sur les assemblages de glace d'aspect les plus divers, et toujours l'auteur fut « surpris de la précision avec laquelle il s'y ajustait par ses côtés et par ses angles ».

Ce n'est d'ailleurs pas seulement entre eux que les filets de glace affectent de se joindre sous un angle de 60 ou

120 degrés, mais encore à toutes les surfaces polies des matières qui leur sont analogues et auxquelles ils s'attachent aisément, telles que le verre, la faïence, la porcelaine, etc.

Ceci nous amène à demander si le fait de se réunir sous un angle déterminé est particulier aux molécules de la glace ; l'expérience répond qu'au contraire nous touchons là à une propriété générale de la manière, puisque les minerais, les pierres et les métaux ont chacun une forme cristalline définie ; il en est de même des sels que le chimiste étudie dans son laboratoire et qui « affectent et retiennent constamment certaines figures, certains arrangements de parties dans leurs cristallisations ; les uns, comme le sel marin, donnent des cubes ou des pyramides un peu creuses, dont les aiguilles sont parallèles aux côtés du carré et autour du centre des trémies dont les cubes sont formés ; les autres, des prismes à pans égaux ou inégaux, des aiguilles, des polyèdres de différentes espèces ».

Comme les molécules de l'eau, les molécules salines ont leur forme particulière. « Imaginez, dit Mairan, que les particules intégrantes de la plupart d'entre eux soient des petites pyramides, droites, raides et aiguës comme des aiguilles anguleuses ou des lames tranchantes. On les juge ainsi par le picottement qu'ils excitent sur les fibres du palais et sur les papilles nerveuses de la langue, par les figures qu'ils affectent dans les cristallisations, et si l'on en croyait quelques observateurs, par la figure même que l'on observe par le moyen du microscope. » Toutes ces substances et cent autres dont je ne parle pas affectent donc un « arrangement déterminé, et une direction de fibres, qui ne diffère de celle des parties de l'eau qui se glace que par l'angle sous lequel elles s'arrangent et par quelques autres circonstances qui, bien loin de détruire l'analogie, ne font que la confirmer ».

La similitude des cristallisations et de la congélation suffit à nous démontrer qu'il est inutile de chercher comment les sels ont pu imposer leur forme à la glace en formation comme l'avait cru Grew. Ces corps, semblables

par leur régularité et leur figuration géométrique, ont tous obéi aux lois de la même mécanique, et n'ont aucune raison de contenir une même substance chimique. Par une conséquence inverse de cette même similitude, la science doit écarter la théorie ingénieuse et simple par laquelle Descartes et Bartholin expliquaient la formation des fleurs hexagonales de la neige, puisqu'elle ne peut s'appliquer aux cristallisations salines; à plus forte raison Mairan espère que la palingénésie qui prétend que la congélation imite dans sa figuration les formes des corps organiques auprès desquels l'eau a séjourné, et qui abusant de notre imagination, tire parti des cristallisations bizarres pour crier au miracle, sera reléguée hors des discussions sérieuses.

Dortous de Mairan, qui a proclamé la similitude de la congélation et de la cristallisation, qui modèle la théorie de la cristallisation des sels sur celle de la formation de la glace, suppose par une analogie inverse que les particules de l'eau que nous ne pouvons atteindre ont une forme spécifique, comme les molécules que le microscope croit découvrir. Il nous rappelle que la plupart des solidifications sont aussi instructives que la solidification de l'eau et il nous invite à généraliser sa théorie à l'ensemble de tous les cristaux. La « dissertation » qui élargit immensément son sujet fut d'ailleurs la dernière œuvre systématique et expérimentale, partie de la considération d'un seul corps cristallisé, de la glace pour aboutir à l'ensemble des corps cristallisés. Après elle chaque travail spécial sera considéré comme une monographie particulière et chaque travail systématique contiendra exposé au même plan une grande quantité d'observations de tous genres. Elles contribuera donc par ses résultats et par la méthode nouvelle qui se substitua par son action à la sienne propre, à créer la cristallographie moderne.

3. L'étude des cristallisations salines fit naître tout naturellement une théorie chimique de la cristallisation

n'ayant aucun rapport avec la théorie physique de Mairan ; les sels sont composés, on le sait, par la combinaison d'un principe acide et d'un principe basique. Auquel de ces composants doivent-ils la figuration remarquable et constante qui caractérise chacun d'eux ? Voici ce que l'homme de laboratoire qui les manie continuellement demande d'abord. Voici une question que les chimistes tentèrent vainement de résoudre dès le début du XVIIIe siècle (1).

Homberg croit pouvoir montrer contre l'opinion commune que ce sont les bases qui imposent leur forme spécifiques à tous les édifices cristallins. « Les sels, dit-il, prennent certaines figures dans leurs cristallisations qu'on leur attribue comme leurs figures propres et qu'on suppose être les figures des acides de ces mêmes sels. Ces figures sont de longues aiguilles pour le salpêtre, des cubes pour le sel marin, des hexagones pour le vitriol, des triangles à pointes abattues pour l'alun, et des ovales aplatis pour le borax. Cependant, quand on examine de près la configuration de ces sels, on voit que ces figures ne peuvent être les figures propres de ces sels, ni des acides qu'on en distille, et qu'elles doivent être plutôt attribués aux principes salins, terreux ou métalliques qui leur servent de base ; nous en voyons une preuve convaincante dans les différentes figures que prend un même acide selon les différents alcalis dont il a été saturé avant d'être cristallisé. »

Par exemple, l'esprit de nitre donne des cristaux hexagones quand il est combiné au cuivre, des lames triangulaires quand il est combiné à l'argent, et des cristallisations en pointe de diamant quand il est combiné au mercure. « Dans toutes ces différentes figures, ce n'est que le même esprit de nitre qui change de figure suivant l'alcali. Il arrive la même chose aux autres acides, après avoir dissous différents métaux ou autres alcalis ; en sorte que l'on peut dire que ces figures appartiennent plutôt aux

1. A D S, 1702.

alcalis qu'aux acides, et qu'il n'est pas vrai de dire que les pointes des acides ressemblent à la figure de cristallisation des sels dont on les a tirés ».

Il est curieux de constater qu'aucune trace de discussions analogues n'est a relever dans l'œuvre des chimistes et des cristallographes qui suivirent. Ils ont senti confusément que leur science se heurtait là à un problème insoluble ; par suite, ils l'abandonnèrent aux naturalistes qui jusqu'à la fin du siècle essayèrent de le résoudre. Cronstedt et Wallérius l'exposèrent dans leur minéralogie et proposèrent la question comme doute philosophique, non comme sujet d'expérience. Peu à peu les savants renoncèrent même à l'envisager, et pour l'éviter déclarèrent qu'une molécule cristalline est déjà un édifice formé par la superposition de molécules chimiques, et dans lequel il est impossible de distinguer les principes élémentaires.

L'usage du microscope en montrant aux savants étonnés, la discontinuité essentielle de la matière, contribua aussi à faire admettre la spécificité essentielle de chaque corps cristallisé ; c'est lui qui poussa Bellini (1) et Leewenhoek (2) vers une philosophie corpusculaire ; tous les corps que nous connaissons sont supposés être formés par d'innombrables particules se rapprochant ou s'éloignant suivant certaines lois fixes ; la forme de ces particules est caractéristique de chaque substance et nous avons tout intérêt à la connaître, puisqu'elle pourra nous expliquer les raisons des propriétés les plus diverses. « Le sucre, par exemple, examiné avec le miscroscope, paraît un composé de molécules angulaires dont les pointes sont émoussées ; le peu d'impression qu'elles font sur les papilles nerveuses de la langue excite cette sensation de douceur que nous lui attribuons. »

Cette induction est justifiée par des expériences répétées ; c'est ainsi que nous voyons l'humidité comme la

1. 1655.
2. J. P. 1675 et ann. suiv.

salive altérer les figures déjà peu précises des molécules constituantes. De même « le sel examiné au microscope présente des parties globuleuses, carrées, pyramides, quadrangulaires et parallélipipèdes dont les angles raides et pointus lui donnent un goût très piquant » il en est de même de toutes les matières qui entrent dans la composition des plantes et qui sont plus ou moins sensibles à notre goût ; ce sens donne des indications en parfaite harmonie avec les théories corpusculaires ; bien que dissoutes, les molécules conservent encore leur forme caractéristique qui impressionne notre langue.

Leewenhoek ne se contente pas d'examiner au microscope les sels solubles dans l'eau ; il observe avec la même attention les cristallisations naissantes qu'elles quelles soient ; ses travaux semblent faire sortir la notion de molécules, dont l'œil armé de son nouvel instrument peut percevoir les assemblages de la spéculation pure dans laquelle les philosophes l'avaient jusqu'à présent maintenue ; les cristaux salins sont formés de particules dures, dont l'on apercevra un jour les particularités intimes et dont la forme est fixe et constante dans la même espèce chimique. Et ces molécules conservent leur individualité spécifique à travers lés transformations physiques, cristallisation, dissolution, que la matière peut subir.

Les études microscopiques (1) toutefois, en dernière analyse, n'eurent aucune influence positive sur le développement de la cristallographie ; elles n'apprirent rien de bien nouveau à ceux qui les continuèrent ; elles furent peu à peu délaissées, sauf dans le domaine de la biologie où elles eurent le succès que l'on sait. Plus tard avec Baker et Lerdemuller on ne les utilisa relativement aux cristallisations salines que pour la vulgarisation et l'amusement ! Mais cet échec apparent ne doit pas nous masquer leur grande importance philosophique ; les savants qui le constatèrent, transportèrent à l'infiniment petit actuellement

1. Pour plus de détails sur le rôle des recherches microscopiques voir Sennebier.

inaccessible leurs théories corpusculaires ; nous les retrouverons dans la plupart des travaux de laboratoire que nous allons examiner maintenant.

La dissolution des sels, les circonstances de leurs cristallisations et la forme plus ou moins régulière de leurs cristaux, intéressèrent simultanément ou indépendamment les unes et les autres, la plupart des physiciens ou des chimistes qui travaillèrent dans les laboratoires ; l'énumération seule des études dans lesquelles ces questions sont signalées brièvement à propos d'un corps spécial serait fastidieuse, et l'on ne tire aucun profit de l'analyse de chacune d'elles. Beaucoup de savants, en effet, après avoir obtenu par des procédés compliqués des cristallisations salines, se bornent à nous confier leurs recettes et leurs résultats en accumulant ainsi dans des imprimés qu'on lira peu et d'une manière distraite, les observations curieuses de quelques faits que l'on ne cherchera pas à reproduire. Notons cependant que longtemps avant l'époque où les mesures précises et répétées patiemment forcèrent la science à enregistrer « la loi de constance des angles dièdres », la forme des cristaux décrite à peu près fut considérée comme spécifique.

Jamais d'ailleurs la description n'est séparée de la narration ; la vue d'un cristal sollicite l'imagination à donner une théorie de sa formation ; de même l'étude d'une dissolution ne saurait nous satisfaire si elle n'est accompagnée d'une théorie de la dissolution. Le savant a le champ libre pour concevoir chaque phénomène ; la philosophie cartésienne ayant éliminé de la science les opinions traditionnelles, la raison construit ce qu'elle veut. Elle se sert dès 1716 des théories corpusculaires que les études microscopiques avaient suggérées ; toutefois elle appelle plutôt l'attention, non sur une particule isolée soumise à toutes sortes d'impulsions, mais sur une masse innombrable de particules, réagissant constamment sur le liquide en contact duquel elles se trouvent.

Voici pourquoi il nous est loisible de comprendre immédiatement, sans aucune préparation historique préalable, « l'explication mécanique donnée par le chimiste Lémery (1), de quelques différences assez curieuses qui résultent de la dissolution de différents sels dans l'eau commune ».

Voici d'abord les lois que l'auteur pose *à priori* comme évidentes :

« 1° Que quoique toutes les liqueurs dissolvantes soient extérieurement fort tranquilles, elles sont intérieurement dans une agitation extrême et continuelle.

« 2° Que ces liqueurs réduisent le corps soumis à leur action, en une poussière d'une finesse qu'on n'imaginerait presque point, sans des expériences sensibles et incontestables qui ne laissent aucun lieu d'en douter.

« 3° Que quand le corps est parvenu au point de division dont on vient de parler, chaque petite portion de liquide peut alors envelopper et en enlever une particule, mécanique dont le détail serait assez long à rapporter et dont on peut toujours faire sentir la vérité par la comparaison d'un vent fort considérable. »

La suspension du corps dissous dans le liquide environnant est une suite nécessaire de son extrême division. Réciproquement d'ailleurs « quand plusieurs particules du corps dissous viennent à se réunir ensuite pour quelque cause que ce puisse être, le liquide ne doit plus être capable de les soutenir en cet état, aussi s'en séparent-elles en se précipitant ».

Voici pour l'aspect général et constant des phénomènes : si, maintenant, au lieu de les observer grossièrement et d'ensemble, nous notons avec soin les phases diverses de la dissolution des différents sels dans l'eau commune, nous sommes frappés non des similitudes mais des différences « qui proviennent de la nature de chaque sel ».

En premier lieu la vitesse de dissolution est très variable ;

1. A D S, 1716.

quelques sels fondent très vite dans l'eau, alors que d'autres s'y répandent presque insensiblement, très lentement ; la première et principale cause de cette différence ne peut provenir que du plus ou du moins de solidité d'un sel.

Si le sel est très compact, « le liquide n'agit que sur la surface extérieure du sel dont il arrache continuellement quelques particules jusqu'à la fin, au lieu que, quand le liquide pénètre facilement en dedans du sel, il agit alors extérieurement et intérieurement, et un plus grand nombre de ses parties étant employées, et travaillant à la fois sur le sel, il doit être par là bien plus tôt enlevé ».

En second lieu, l'expérience nous montre que tous les sels ne sont pas également solubles, chose que la théorie ne nous avait pas laissé prévoir. « On ne conçoit pas aisément en effet que quand on a versé séparément différentes portions égales d'eau commune sur différents sels, il y en ait de certains dont l'eau enlève et tienne en dissolution une beaucoup plus grande quantité que d'autres. On croirait même volontiers que ce liquide devrait se charger autant des unes que des autres, pourvu que d'ailleurs on lui accordât le temps requis pour la dissolution et qui doit être plus ou moins grand suivant la nature du sel. Et pourtant, est-il besoin de le dire? il n'existe pas deux sels qui se ressemblent assez parfaitement par cette circonstance, pour ne demander précisément que la même quantité d'eau pour leur dissolution. »

Pour prendre un exemple précis, dissolvons une quantité fixe de salpêtre et de sel de tartre dans l'eau commune, de manière à obtenir des solutions saturées ; nous constatons qu'alors qu'il faut quatre parties d'eau pour dissoudre une partie de salpêtre, une seule partie d'eau rend liquide une partie égale de tartre ; comment rendre raison de ces différences remarquables ? Lémery émet plusieurs hypothèses ingénieuses qui ne supportent pas un examen appprofondi et qu'il abandonne à regret.

Il pense enfin à regarder de près la poudre de tartre

et les cristaux de salpêtre, ce qui lui inspire les suppositions suivantes : chaque partie intégrante de tartre a une figure qui ne lui permet pas de s'unir aisément aux autres ; elles ne peuvent former même quand elles se touchent un tout continu et elles restent séparées les unes des autres. Au contraire, la surface extérieure de chaque partie intégrante du salpêtre est telle que plusieurs de ses parties sont unies et laissent moins d'intervalle les unes avec les autres.

Les conséquences de cette manière de voir sont précisément les causes mêmes qui ont amené Lémery à l'imaginer, preuve certaine que la construction mentale est excellente. On prévoit que les particules de tartre doivent être plus facilement séparées que celles du salpêtre — et en effet le tartre est dissous plus rapidement que le salpêtre ; d'autre part une grande quantité de sel de tartre doit subsister en dissolution dans le liquide, car quand les parties de ce sel viendront à s'y rencontrer, comme la nature de leurs surfaces ne leur permet pas de s'approcher de fort près, le moindre mouvement sera capable de les empêcher de se réunir assez fortement plusieurs ensemble pour former de grosses masses qui ne puissent pas être suspendues en cet état dans le liquide. La facilité avec laquelle les particules de salpêtre se réunissent est cause qu'il leur faut beaucoup plus de parties d'eau qu'au sel de tartre, non pas à la vérité pour les mouvoir et les emporter, mais pour leur servir en quelque sorte d'intermède qui les éloigne les unes des autres, et qui les empêche par là de se rapprocher... car sans ces parties d'eau interposées, celles du salpêtre ne subsisteraient pas longtemps dans leurs divisions. Elles se rencontreraient à tout instant et ne tarderaient guère à produire par leurs réunions des masses incapables de se soutenir dans le liquide...

La supposition de Lémery qui explique si bien les particularités de la dissolution de ces sels fait de même prévoir les différences de leur solidification ; si nous faisons

évaporer nos liquides « jusqu'à la pellicule », « le tartre forme des poussières qui tombent les unes sur les autres ; le salpêtre forme de grosses masses solides ou cristaux », ce qui prouve d'une manière définitive que les particules de salpêtre sont plus rapprochées que celles du tartre.

La théorie vérifiée par rapport à cet exemple choisi, va être confrontée avec toutes les dissolutions imaginables et sera définitivement adoptée par son auteur qui n'essaye pas de préciser les rapports entre les formes cristallines des dépôts et les formes des particules intégrantes. Si ce système, dont la forme est encore trop parfaite, n'est repris par aucun des collègues de Lémery, il a du moins comme résultat immédiat de rendre complémentaires les notions de dissolution et de cristallisation qui étaient jusque-là isolées. Petit (1), par exemple, n'oublie pas d'expliquer par la structure hypothétique des solutions les causes de la cristallisation des sels qu'elles déposent. Comme ses prédécesseurs, il ne songe pas à séparer la description des phénomènes de leur interprétation systématique ; et sa théorie toute entière est contenue dans l'énumération suivante des différentes manières dont les sels dissous dans un liquide peuvent se coaguler :

« 1° *Lorsqu'on vient à refroidir tout d'un coup une dissolution chargée de quelque sel.* J'ai plongé dans l'eau froide des vases remplis de ces dissolutions chaudes, les parties salines tombent comme en poussière au fond de la dissolution, à cause qu'elles ne peuvent plus être entretenues en mouvement par les parties du liquide qui perdent en un moment celui que la chaleur avait communiqué. Les parties salines s'unissent sans ordre et tombent avec précipitation.

« 2° *Par une évaporation prompte et continue des parties du liquide.* Comme lorsqu'on fait évaporer entièrement sur le feu la dissolution de quelque sel, le sel n'acquiert pour lors aucune forme particulière, les parties salines n'ont pas le temps de s'ajuster les unes avec les

1. A D S, 1722.

autres pour former des cristaux, elles s'approchent et s'unissent confusément sans aucun ordre, dans la précipitation avec laquelle les parties aqueuses les abandonnent.

« 3° *Par une évaporation lente et continue*. Lorsqu'on expose les dissolutions à l'air et principalement au soleil, les parties aqueuses se dissipent lentement, les salines ont le temps de s'ajuster et de trouver pour ainsi dire les surfaces par lesquelles elles peuvent s'unir les unes aux autres pour former des cristaux. Le sel marin cristallise mieux de cette manière que de toute autre.

« 4° *Si on laisse refroidir une dissolution chaude et bien chargée de quelque sel* ; pour lors les parties ne perdent que peu à peu le mouvement que la chaleur leur a communiqué. Les parties salines en font de même et venant à se rencontrer elles s'unissent : mais tant que les parties du liquide ont quelque prise sur elles, et qu'elles trouvent quelque endroit pour les heurter (en supposant qu'elles ont toujours assez de mouvement à proportion de la quantité des sels et de la masse de leurs molécules), elles ont toujours la force de se séparer les unes des autres jusqu'à ce qu'elles se soient rencontrées par les surfaces qui ôtent aux parties du liquide les moyens de se désunir, et c'est de cette manière que se forment les cristaux qui sont différents suivant les différents sels. »

Petit ne peut songer à décrire chacune des arborescences de forme bizarre et singulière qu'il a obtenues en faisant varier la forme des cristallisoirs par ce dernier procédé ; une telle énumération serait longue, fastidieuse, peu intéressante et fatiguerait les lecteurs ; il préfère indiquer rapidement les caractères de la cristallisation qui sont constants dans chaque sel défini.

C'est ainsi qu'il nous dit que les cristaux de sel marin sont cubiques, que ceux du vitriol sont rhomboïdes, que ceux de l'alun sont octaèdres et que ceux du salpêtre sont des prismes à six faces terminés par des pyramides à six faces plus ou moins régulières.

Mais il n'établit aucun lien entre ses observations mor-

phologiques et sa théorie générale de la cristallisation ; il se contente d'exposer cette dernière sans se soucier de rechercher si les lois de la formation des cristaux salins n'impose pas à ces derniers une structure déterminée.

Le comte de Marsili (1) qui a su employer tous les loisirs de sa vie aventureuse pour travailler à son « histoire physique de la mer » ne dit que quelques mots rapides sur la cristallisation du sel marin qui reste en dépôt dans l'alambic après la distillation de l'eau qui le contenait ; « la figure naturelle du sel, dit-il, est proprement laminaire, car dans les évaporations les plus réglées de l'eau, on voit que leurs premiers principes et leur plus grande consistance sont par lames... Il m'est arrivé plusieurs fois de trouver dans le fond de l'alambic plusieurs cônes de sel d'une figure accidentelle causée par les surfaces de la même figure du verre ; et bien que le tout fût conique, pourtant, à le bien examiner, ce n'étaient que des lames coagulées en cette forme par accident ».

Marsili n'a pas l'esprit systématique, et l'explication théorique de la solubilité des sels, comme de leur cristallisation ne le préoccupe pas ; c'est uniquement l'observation qui le guide ; c'est elle qui l'amène à affirmer la structure lamellaire du sel marin. Par cette opinion que Bourguet peu d'années après porta à son plus haut degré de perfection et généralisa à tous les cristaux, il mérite d'être mentionné ici. Les *Lettres philosophiques* en effet qui reflètent très nettement le passage de l'opinion scientifique du cartésianisme au newtonisme, doivent peut-être autant aux travailleurs consciencieux, qui, comme Marsili, virent que les cristaux sont formés d'une superposition de lames empilées, qu'aux physiciens tels que Lémery qui imaginèrent une théorie cinétique des solutions.

4. L'œuvre de Bourguet que nous avons rencontrée dans chacun des domaines sur lesquels la cristallographie

1. 1723.

naissante a tenté de se frayer une route, ne peut s'analyser dans son ensemble si l'on s'obstine à la considérer comme isolée ; elle ne se suffit pas à elle-même et ne prétend pas être définitive et complète ; elle ne vise pas à la perfection immédiate et peut subir des retouches qui la rendent conforme aux faits observés sans l'altérer dans ses grandes lignes. Par ces caractères, elle s'éloigne de la méthode cartésienne qui produisit des théories physiques ou chimiques, rigoureusement logiques comme celles de Lémery, théories explicatives qui toutefois ne servent pas de guide et ne permettent de prévoir que le connu. Les *Lettres philosophiques* gardent pourtant un des aspects scientifiques que nous avons signalé dans la période précédente et que nous retrouvons plus ou moins marqués et apparents dans tous les ouvrages cristallographiques du XVIII[e] siècle ; elles veulent donner une vue d'ensemble de l'univers et n'oublient jamais que le point particulier qu'elles traitent n'est qu'une petite partie du grand Tout.

Quoi d'étonnant alors à ce que les lois générales du mouvement et la figure des molécules qui composent les cristaux soient seules invoquées pour expliquer le mécanisme de leur formation. « On pourrait réduire ces lois à la seule pesanteur qui est un effet immédiat de la construction systématique du monde. »

« Personne n'ignore que les sels se dissolvent dans l'eau commune et qu'il arrive la même chose aux minéraux et aux métaux quand on les met dans différents menstrues (1). Les particules de tous ces corps solides se séparent aisément, et leur pesanteur décroît en raison triplée de la diminution de leur diamètre à mesure que leur superficie ne décroît qu'en raison doublée, ce qui fait que ces menstrues soutiennent toutes ces particules et ne composent qu'une même masse liquide. Mais cet état n'est point permanent. Les molécules qui ne sauraient

1. Dans l'ancienne chimie le mot menstrue était synonyme de dissolvant ; les premiers expérimentateurs pensèrent qu'il fallait un mois pour qu'une disssolution soit complète.

perdre entièrement leur figure se rallient peu à peu dans le fluide même, lorsque son mouvement se ralentit, ou qu'il s'en exhale une partie, et leur pesanteur augmente dans les mêmes proportions Elle se précipitent alors en forme de poudre, ou elles se cristallisent et tombent ensuite au fond, ou s'attachent aux côtés du vase qui les contient. Le mouvement ayant été ainsi changé, fait que d'autres parties se lient encore et vont s'unir aux précédentes, et forment un simple sédiment ou plusieurs cristaux. Cela même arrive si l'on ajoute un nouveau liquide au précédent qui fait d'abord précipiter les molécules qui nageaient auparavant. »

Si l'on n'examine que superficiellement cette théorie, on la trouvera analogue à toutes celles que nous avons précédemment étudiées. Il faut la regarder de près pour s'apercevoir qu'elle contient non seulement une explication mécanique de la dissolution et de la cristallisation, mais tout un programme de recherches que les savants aborderont plus tard. Et d'abord, en affirmant que les cristaux pierreux et métalliques se forment de la même manière quoique avec d'autres matières que les cristaux de laboratoire, Bourguet n'invite-t-il pas les futurs théoriciens de la terre à transporter telles quelles les idées corpusculaires et chimiques de la science à l'explication de tous les phénomènes géologiques. — C'est le plan dont Lamétherie ne s'écartera point. — Voici une remarque plus importante : Bourguet renonce définitivement à imaginer les périgrinations d'une molécule dissoute ; il n'examine que l'ensemble de ces petits corps et c'est à leur masse qu'il applique sa mécanique scientifique. La pesanteur, qui n'est d'ailleurs que *l'attraction* dans le sentiment de Newton, lui permet d'établir une théorie cinétique des solutions avant que Bernouilli n'eût publié la théorie cinétique des gaz. Pendant de longues années encore, jusqu'à ce que les méthodes plus positives de Romé de l'Isle et d'Haüy écartèrent de la cristallographie les discussions théoriques inaccessibles à l'expérience, les

savants chercheront à préciser quel est le rôle de l'attraction newtonnienne dans la formation et le dépôt des solutions les plus diverses.

Ce n'est pas tout. « Les concrétions régulières ajoute Bourguet ne se formeraient jamais si les molécules dont elles sont composées n'avaient des figures déterminées. Les philosophes en conviennent bien, mais ils ne sont pas d'accord sur les figures originales, soit des sels, soit des cristaux ». Bourguet, persuadé que l'aspect d'un cristal n'est dû qu'à l'action de ses molécules « déterminées par leur figure et par l'action des fluides qui les environnent » entreprend de regarder de nouveau la plupart des sels dont on admire les belles cristallisations ; il les croit, comme le cristal de roche, formés de lames plates et superposées, dont la forme diffère suivant les propriétés chimiques de l'échantillon considéré : celles du vitriol sont rhomboïdes, celles du nitre sont des triangles équilatéraux, celles de l'alun sont pyramidales, celles du sel marin forment des cubes par leur superposition.

Mais si les lamelles composantes sont parfaitement déterminées et identiques dans un même corps, les édifices cristallins au contraire, conserveront « des traces de la liberté de Dieu » et différeront d'une manière sensible des solides réguliers connus des géomètres. De même les cristaux d'une espèce définie ne seront pas rigoureusement identiques et présenteront des irrégularités manifestes et irréductibles à la même loi ; par cette affirmation que bien d'autres répétèrent, Bourguet semble un précurseur de Buffon et de Lamétherie qui lui empruntèrent la théorie lamellaire des cristaux et refusèrent à la cristallographie une place parmi les sciences exactes Comment se fait-il que ce *système* amena ses futurs adeptes à nier la loi de constance des angles dièdres découverte par Romé de l'Isle ? La question est un peu délicate. On ne peut la résoudre qu'en constatant que ceux qui ont adopté la théorie lamellaire visaient plutôt à connaître les lois de formation et d'accroissement des cristaux

qu'à décrire la morphologie actuelle d'échantillons isolés ; ils voulaient voir dans chaque pièce l'histoire des relations entre les différents milieux qui ont contribué à la former... Et la multitude variée des faits qu'ils furent obligés d'observer, les amenèrent à nier l'existence de constantes qu'un examen approfondi leur aurait dévoilées.

Si Bourguet et les physiciens philosophes, tentèrent de ramener les lois de la dissolution et de la cristallisation à l'attraction universelle des newtoniens, le célèbre chimiste Stahl (1) se défia des systèmes mathématiques et précis qui éloignent l'esprit de l'observation de la nature. « Personne n'ignore, dit-il, que les acides combinés avec différentes substances prennent en se cristallisant des figures différentes, et l'on a fait une infinité d'hypothèses pour expliquer comment de grands cristaux réguliers se formaient par l'assemblage de molécules imperceptibles ; ces recherches ne sont d'aucune utilité pour les vues chimiques ». Il est plus profitable d'examiner les circonstances de la cristallisation que de fournir une théorie actuellement invérifiable et par conséquent inutile ; aussi Stahl se contente-t-il d'énumérer les procédés empiriques qui, bien employés, donnent de beaux et grands cristaux ; il faudra par exemple laisser refroidir doucement une solution saline, dont on aura chassé l'excès d'eau par l'évaporation à une douce chaleur ; et il y aura pour chaque sel des conditions de cristallisation préférables ; de même les formes obtenues varieront suivant les espèces chimiques quoique fixes pour la même espèce. Mais ces diversités de détail n'intéressent guère le chimiste qui ne fait qu'effleurer le sujet. « En général, avoue-t-il, à l'exception de la connaissance extérieure, la figure des sels ne m'a rien appris d'utile. C'est pourquoi je laisse à d'autres à faire des découvertes en ce genre ».

5. Rouelle qui cherchera quelques années après à faciliter les moyens de parvenir à la théorie de la cristallisation

1. Mort en 1733.

fera remarquer que l'influence des chimistes comme Sthal, contrebalancent les influences mathématiques introduites dans la science par Descartes et Newton.

Le plan que suivit Rouelle est absolument nouveau; ce chimiste tente une classification générale des sels en se basant uniquement sur les caractères variés de leurs cristallisations au milieu des solutions aqueuses ; et ce travail de classification servira de préface à un examen plus approfondi des conditions de formation de chaque espèce de cristaux salins ; il est vrai que la monographie du sel marin est la seule étude qu'il nous ait laissée construite suivant sa méthode ; elle suffit toutefois à nous faire voir la minutie et la patience des hommes de laboratoire qui notaient tous les détails des phénomènes qu'ils observaient avant de risquer une conclusion.

La prudence de l'auteur l'amène à définir tous les termes qu'il emploie et dont le sens dans l'ancienne chimie n'était pas absolument précis. « J'appelle sel neutre, moyen ou salé, tout sel formé par l'union de quelque acide que ce soit, ou minéral ou végétal, avec un alcali fixe, un alcali volatil, une terre absorbante ou une substance métallique. » Tous ces corps ont, indépendamment de cette définition chimique, une propriété physique commune ; ils cristallisent au sein d'une solution aqueuse dont l'excès d'eau s'évapore, — mais comment ces solides ont-ils pu se fondre dans la masse liquide pour former avec elle un fluide homogène ? Voici la première question qui nous arrête. Les sciences mathématiques et physiques ont déjà formé d'hypothétiques réponses comme celles que nous avons précédemment examinées, réponses que l'expérience ne peut ni confirmer, ni infirmer. — Un seul résultat semble acquis ; « les différents sentiments, que les auteurs ont sur la dissolution n'intéressent pour le présent qu'autant qu'ils font voir en quel état les sels sont dans l'eau, c'est-à-dire qu'ils y sont divisés en molécules très petites. »

1. A D S, 1744-1745.

Voici l'opinion constante ; l'effet immédiat de la cristallisation est en conséquence le même chez tous les auteurs ; des molécules salines se réunissent ensemble et forment des masses de cristaux ; c'est la première des lois de la cristallisation ».

Nous devons examiner maintenant les nuances de l'évaporation des solutions qui en diminuant la masse liquide permet aux sels de se déposer. « Je distingue, dit Rouelle, trois évaporations ou plutôt trois degrés, et ce, à raison du plus ou du moins de chaleur qui est employé. Le premier degré de l'évaporation, que j'appelle *évaporation insensible*, commence lorsque la glace se fond, ou si l'on veut même plus tôt, puisqu'on a observé en physique que la glace est susceptible de l'évaporation, et il s'étend jusque proche de la chaleur, telle que celle du soleil d'été. Le second degré de l'évaporation que j'appelle l'*évaporation moyenne* commence ou finit l'insensible et va jusqu'à une chaleur telle que les vapeurs de l'évaporation soient très visibles et que l'on ne puisse tenir le doigt dans la liqueur. Le troisième degré de l'évaporation que j'appelle *l'évaporation rapide* commence où finit la moyenne et s'étend jusqu'à l'ébullition.

Quel que soit le mode d'« évaporation que la température impose aux solutions, les parties salines qui se rapprochent ont la propriété de s'unir plusieurs ensemble en gardant entre elles un ordre symétrique tel qu'elles fort ment des corps réguliers et différemment figurés suivant la nature de chaque sel ; on appelle ces corps des cristaux ». Mais dans la plupart des cas, les molécules salines n'entrent pas seules dans les cristallisations ; il s'y joint aussi de l'eau qui, à la vérité, ne change rien aux propriétés chimiques des sels puisqu'on peut la leur enlever sans qu'ils les perdent ; mais en l'ôtant on détruit la structure des cristaux ; Rouelle appelle cette eau, *l'eau de cristallisation*, afin de la distinguer de l'eau qui se dissipe par l'évaporation à laquelle il a donné le nom *d'eau surabondante et à la cristallisation* ou plus simplement eau de dis-

solution. L'expérience montre que l'eau de cristallisation n'existe pas en quantité constante dans les différents sels cristallisés ; certains n'en retiennent pas ; d'autres au contraire en retiennent beaucoup et fournissent de gros cristaux ; quoi qu'il en soit de ces différences, la cristallisation se produit de la même manière dans les solutions salines les plus diverses ; nous allons essayer de déterminer les lois de sa formation.

Et d'abord, cela est évident, « plus un sel demande d'eau pour être dissous, moins il reste de temps dans la liqueur après l'évaporation » ; voici maintenant une observation que la théorie confirme, « C'est de l'évaporation et du refroidissement qui se font en même temps à la surface du liquide qui est formée cette loi, que les premières unions salines se forment toujours à la surface d'une dissolution traitée particulièrement par l'évaporatiou moyenne ou la rapide » ; il est curieux de constater que la plupart des sels neutres, ne donnent pas des cristaux également beaux et réguliers suivant le mode d'évaporation employé ; il y en a même qui donnent des cristallisations également régulières mais de figurations différentes suivant que l'évaporation du liquide est plus ou moins rapide.

Malgré les différences que l'on remarque dans les propriétés d'un même corps, par une observation superficielle il est possible de classer les sels en six sections ayant chacune des caractères cristallographiques nettement définis.

La première, qui ne comprend que quelques sels de l'acide vitriolique, a des cristaux formés de lames minces et aplatis ; ils se cristallisent solitairement même au plus faible degré de chaleur, et sont de tous les sels ceux qui demandent le plus d'eau pour être dissous,

La deuxième section comprend le sel marin, les nitrates de plomb et de mercure, le tartre vitriolé. Ce sont des sels dont les cristaux sont soit des cubes simples, soit des cubes dont les angles sont tronqués, soit des pyramides à plusieurs pans ; les cristaux sont solitaires

et se forment aussi bien à la surface que dans le fond de la liqueur.

La troisième section comprend les vitriols de Mars, de Vénus, de zinc, l'alun, le borax, les sels nitreux de l'argent, du bismuth, le sucre, le sel de seignette, etc. Les cristaux de ces sels sont des tétraèdres, des parallélipipèdes et des rhomboïdes ; ils se forment parfaitement par l'évaporation insensible au fond des liqueurs, et leurs aspects varient suivant les circonstances de leur formation.

La quatrième section comprend uniquement les sels de l'acide végétal combiné avec l'alcali fixe, l'alcali volatil, la terre absorbante et le plomb ; les cristaux de ces sels sont des parallélipipèdes aplatis dont l'extrémité se termine par deux surfaces inclinées l'une sur l'autre ; ils donnent des cristaux parfaits et considérables par l'évaporation insensible et leurs formes sont parfaitement semblables.

La cinquième section comprend les vitriols ammoniacaux, le sel de Glauber, les sels formés par l'acide du sel marin combiné avec l'ammoniac, le sublimé corrosif, le plomb corné, le nitre ordinaire, le nitre ammoniacal, etc... ces sels cristallisent très mal par l'évaporation insensible ; ils donnent par refroidissement de longues aiguilles allongées, qui le plus souvent se groupent en houppes.

La sixième section qui comprend les sels de l'acide marin combiné à la terre absorbante, au fer, au cuivre, la combinaison du vinaigre avec l'alcali fixe et le fer, du tartre avec le fer et le cuivre, dont la déliquescence empêche la cristallisation, ne donnent des cristaux mal formés qu avec une évaporation rapide et intense ; ces cristaux ne peuvent s'observer que dans un bain d'esprit de vin, car exposés à l'air, ils attirent son humidité ; on ne peut les étudier facilement.

Rouelle a choisi comme sel type le sel marin qui est extrêmement répandu et dont les cristallisations sont très nettes ; si l'on soumet, dit il, à *l'évaporation moyenne*

une dissolution de ce sel « chargée autant qu'elle peut l'être » et de manière à ce que la liqueur puisse être frappée par l'air froid, il se forme à la surface du vase des cristallisations que l'on peut enlever en introduisant des feuilles de papier gris sur le haut de la liqueur. Ces cristallisations sont pyramidales, on le constate à la loupe. « Elles nagent à la surface de la liqueur comme une nacelle, parce qu'elles sont creuses » ; mais elles sont spécifiquement plus pesantes que l'eau « puisque si on les enfonce avec une aiguille, elles se précipitent au fond » et ne remontent plus ; ces pyramides s'accroissent jusqu'à devenir visibles à l'œil nu à mesure que l'on fait évaporer la solution.

Il serait intéressant de voir les premiers instants de la cristallisation ; malheureusement cela est impossible ; et les cristaux, dès qu'ils sont perceptibles sont déjà des pyramides creuses qui grandissent, il est vrai, par l'adjonction de petits cubes se plaçant aux extrémités de la trémie déjà formée ; et puisque les parties des pyramides sont carrées, l'on peut supposer que leur origine est due au même mécanisme que leur continuation, c'est-à-dire que le premier noyau du cristal est cubique.

« L'on sait d'ailleurs que les parties du sel marin qu'on a brisées sont toutes de figure cubique, ce qui est très sensible dans les parois minces de ces pyramides qui se cassent suivant la direction de leurs prismes ; mais ces prismes même se cassent en cubes ; ainsi les premières unions du sel marin étant cubiques, il est nécessaire que ces pyramides commencent par un cube. »

Ces cristallisations ne restent à la surface de l'eau qu'à cause de l'adhérence de l'air. A mesure qu'elles grandissent, leur base s'enfonce et la pyramide s'élargit parce que les petits cubes ne s'accolent qu'au bord supérieur du solide qui est plus large à la superficie de la liqueur ; quelques-unes d'entre elles tombent au fond par suite d'un défaut ou d'un accident de la cristallisation, et là elles s'accroissent en tous sens...

« Une dissolution de sel marin mise en ébullition donne tout d'un coup une pellicule égale formée par une infinité de petites pyramides ; elle occupe la surface de la liqueur où il n'y a pas de bouillon ; si on précipite cette pellicule, il s'en forme une nouvelle presque dans l'instant même ; la cristallisation du sel par *l'évaporation rapide* ne nous apprend donc rien.

Au contraire si l'on soumet une dissolution de sel marin à *l'évaporation insensible,* les cristaux se forment au fond de la liqueur ; « ils sont cubiques parce que les premières unions salines ou le cristal primitif étant cubique, les molécules nouvelles qui s'y unissent étant cubiques également, il doit toujours résulter de ces unions des cristaux plus ou moins réguliers ». Comment se fait-il que dans ce cas les cristaux ne prennent pas naissance comme tout à l'heure à la superficie du liquide ? c'est là que l'évaporation de l'eau met les molécules salines en liberté ; mais la chaleur n'est pas assez intense pour dessécher leurs bords supérieurs et permettre à l'air de les faire nager en y adhérant ; il faut donc qu'elles gagnent le fond des cristallisatoirs et forment des unités nouvelles ou s'ajoutent aux cristaux déjà commencés.

Les autres sels de la même section ont d'ailleurs des cristallisations analogues à celles du sel marin ; l'auteur les décrit rapidement.

Rouelle a conscience d'avoir débrouillé un sujet qui jusqu'à présent avait embarrassé les chimistes ; Homberg par exemple, Guglielmini et bien d'autres avaient déjà aperçu les cristallisations cubiques ou pyramidales du sel marin ; mais faute d'études méthodiques ou rigoureuses, ils n'avaient pu parvenir à en comprendre les lois.

Donc, « l'histoire de la cristallisation du sel marin, en déterminant les différentes formes, concilie les divers sentiments des auteurs ; les uns ont vu une sorte de cristaux, les autres une autre ; ceux-ci ont attribué au hasard plusieurs de ces figures, ou aux irrégularités de la cristalli-

sation ; ceux-là ont cru que tous ces différents cristaux étaient l'ouvrage d'une même cristallisation, trompés parce qu'ils ont exposé sur le feu une dissolution de ce sel pour les faire bouillir et que cette dissolution ayant passé successivement par différents degrés de chaleur, a donné de même des cristaux différents ».

A un point de vue que nous n'avons pas encore envisagé, l'œuvre de Rouelle présente un grand intérêt ; cet auteur en effet indique que le cube est le noyau de toutes les formes cristallines du sel marin, c'est-à-dire que les cristaux d'aspect différents sont tous dus à des agglomérations de petits cubes dont les facettes se touchent. Par là s'expliquent que les angles des cristallisations les plus diverses sont constamment droits... Mais ceci est une ébauche grossière des assemblages réticulaires et géométriques à l'aide desquels Haüy créera plus tard la cristallographie mathématique ! Les idées que les grands savants dégagent et mettent en valeur existeraient-elles toujours en puissance dans l'esprit scientifique de l'époque qui les a mises en lumière ? n'auraient-elles besoin que de devenir plus abstraites, de prendre conscience d'elles-mêmes en s'isolant des notions différentes avec lesquelles elles étaient précédemment confondues, pour devenir des théories fécondes ? Sans chercher à répondre à cette trop vaste question, nous constaterons simplement que la science des cristaux qui vers le début du XIX^e^ siècle s'est présentée comme un nouveau chapitre de physique mathématique au langage parfait, évoluait vers cette forme pendant une longue période de tâtonnement sans résultats appréciables.

Le célèbre chimiste Macquer vulgarisa les résultats des expériences de Rouelle, en même temps qu'il intéressa la plupart des amateurs à observer attentivement la formation et la forme des cristaux les plus variés ; ses théories sont des plus simples et répètent en les préci-

sant les lieux communs admis couramment à son époque (1).

« La cristallisation (2), dit-il par exemple, est uniquement une opération par laquelle les parties intégrantes d'un corps, séparées les unes des autres par l'interposition d'un fluide, sont déterminées à se rejoindre et à former des masses solides d'une figure régulière et constante. » A quoi est-elle due et dans quelles circonstances se produit-elle ? L'expérience seule peut nous l'apprendre. Toutefois, si chaque étude ne nous renseigne que sur les cas particuliers, une synthèse philosophique de l'ensemble des travaux nous permettra de dégager les lois générales qui s'appliquent à la formation de tous les cristaux !

Ainsi après avoir observé les figurations cristallines qui caractérisent chaque substance métallique ou chaque sel, après avoir constaté que toute substance chimique définie a sa figuration spécifique, après avoir décrit quelques-unes de ces figurations, Macquer pensera-t-il que les différents corps ne diffèrent les uns des autres que par les différences de leur forme ; ce qui l'encouragera à préciser les phénomènes qui se produisent lors de la genèse de toutes les cristallisations :

« 1° dit-il, les parties intégrantes de tous les corps, ont, les unes vers les autres, une tendance en vertu de laquelle elles s'approchent, s'unissent et adhèrent entre elles quand aucun obstacle ne s'y oppose ;

« 2° Dans les corps simples ou peu composés, cette tendance des parties intégrantes les unes vers les autres est plus marquée et plus sensible que dans les corps composés ; de là vient que les premiers sont beaucoup plus disposés à la cristallisation ;

« 3° Quoique nous ne connaissions point la figure des molécules primitives intégrantes d'aucun corps, on ne peut douter néanmoins que ces molécules primitives des diffé-

1. *Éléments de chimie théorique*, 1749.
2. *Dictionnaire de chimie*, 1776.

rents corps n'aient chacune leur figure constante toujours la même qui leur est propre ;

« 4° Il paraît également certain, qu'excepté le cas où toutes les faces des parties intégrantes d'un corps sont absolument égales et semblables, ces parties intégrantes ne tardent point à s'unir directement par toutes leurs faces, mais plutôt par les unes que par les autres ; il est vraisemblable que c'est par celles qui peuvent avoir entre elles le contact le plus immédiat. »

Voici pour les cristallisations en général ; nous chercherions vainement dans Macquer une adaptation précise de cette théorie trop large à chaque cas particulier ; il n'a retenu pour formuler son système que quelques phénomènes constants qui ne permettent aucune prévision nouvelle ; il décrit attentivement les cristaux métalliques ou salins qu'il a obtenus ou observés dans les laboratoires ; il sait par ses propres travaux qui confirment ceux de Rouelle, que chaque corps a sa forme spécifique de cristallisation ; il dit que le sel marin est cubique, que le nitre donne de longues aiguilles, que le tartre vitriolé cristallise en « figures octaèdres dont les pointes pyramidales sont assez obtuses, » que le sel de Glauber forme des solides allongés à six faces... il connaît, si l'on peut s'exprimer ainsi, la physionomie cristalline de chaque matière ; il ne précise pas davantage et dédaigne les mesures d'angle dont il laisse à d'autres le soin d'apercevoir la constance.

Un seul point de la théorie de la cristallisation des sels est étudié théoriquement ; ceux-ci se déposent le plus souvent au sein d'une solution aqueuse et retiennent dans leurs cristaux une certaine quantité d'eau ; or, si l'on fait chauffer les cristaux, ils laissent évaporer leur eau, se réduisent en poudre, perdent leur figuration et souvent leur transparence. Mais ils conservent cependant leurs propriétés chimiques ; « on doit conclure de cela, que l'eau de cristallisation n'est point, à la vérité, de l'essence du sel comme sel, mais qu'elle est de l'essence du sel en tant que cristallisé, puisque c'est à elle que les

cristaux salins doivent leur forme régulière, leur transparence et même la cohésion de leurs parties ». Voici établi comme Rouelle l'avait pressenti que la cristallisation est un phénomène physique, puisque c'est par des phénomènes physiques qu'on la provoque et qu'on la produit. C'est désormais ainsi qu'elle va être considérée par la plupart des auteurs.

6. C'est ainsi que Guyton de Morveau (1) l'étudie dans ses « digressions académiques » qui sont des dissertations philosophiques provoquées par différent problème de sciences physicochimiques.

Nous démêlons aujourd'hui, dans ces curieux essais, la trace des influences réciproques de l'expérience et de la pensée sur une science en formation. L'auteur a l'habitude des travaux de laboratoire, des expériences précises et exactes qui demandent une longue patience ; de même il a étudié et manipulé les théories de ses prédécesseurs qu'il discute, confronte avec la réalité, avant de les approuver ou de les rejeter ; il se tient au courant des nouveautés et critique avec la même largeur d'esprit les ouvrages qui paraissent journellement. Par ses qualités toutes modernes, on le croirait déjà de l'école qu'ont illustré Romé de l'Isle et Haüy, positivistes avant que le mot ne soit inventé. Cependant, ainsi que Macquer, s'il s'intéresse aux phénomènes généraux de la dissolution et de la cristallisation, il ne s'attarde guère à l'explication des particularités de chaque cas ; ceux-ci sont dus à l'application des lois générales que la science a mission de connaître et qui agissent différemment, dans des circonstances différentes n'intéressant que le praticien. Ainsi une seule expérience bien faite sera-t-elle susceptible de dévoiler le mécanisme de la cristallisation sans laisser un détail dans l'ombre. La trame logique et serrée de la méthode cartésienne n'est pas encore brisée par l'accumulation de faits en apparence contradictoires, certainement disparates, et que

1. 1762. Voir aussi *Traité de Chimie*, 1777.

nous expliquerions difficilement si nous voulions les serrer de près. Considéré ainsi, Guyton de Morveau nous apparaît comme un successeur de Mairan qui ne voit dans toute la nature et spécialement dans la cristallisation que l'action constante des mêmes principes. Mais depuis Mairan, ces principes se sont simplifiés ; ils peuvent maintenant se ramener à l'admirable loi de gravitation universelle, que Newton a découverte et que Buffon a généralisée à tous les phénomènes naturels. Les réactions chimiques et les cristallisations sont soumises, dira Morveau, à des lois qui sont les mêmes « que la loi générale par laquelle les corps célestes agissent les uns sur les autres ; et ces attractions particulières ne varient que par l'effet des figures des parties constituantes, par ce que cette figure entre comme élément dans les distances ». Cette opinion a quelque ressemblance avec celles que Lémery ou Bourguet avaient émises autrefois ; du moins puisque nous ne pouvons suivre les particules de la matière trop petites et trop nombreuses pour être accessibles, elle nous amènera elle aussi, à des théories cinétiques ; d'un autre côté, elle rendra définitivement solidaires, la dissolution et la cristallisation que nous considérons comme inverses ; le premier écartant les molécules solides dans un milieu approprié ; le second les rapprochant et les soudant pour qu'elles donnent naissance à des solides réguliers.

Entrons plus avant dans le maniement de cette théorie et demandons à l'expérience quelle est la nature des molécules qui se réunissent pour former les cristaux ? Certains savants ont cru, nous l'avons déjà vu, que les éléments eux-mêmes imposaient leurs figurations à certains de leurs complexes ! N'avons-nous pas vu récemment encore des savants minéralogistes rechercher si les sels doivent leur forme spécifique à leur acide ou à leur base ? Guyton de Morveau signale la vanité d'un problème aussi vaste ! Il ne se perd pas dans les dédales de l'analyse chimique, et croit pouvoir affirmer que la molécule spécifique de chaque corps cristallisé est le dernier terme de sa division

mécanique ; ces molécules sont-elles semblables à l'atome chimiquement indivisible ? Dans la plupart des cas, il n'importe ; elles sont « les particules similaires » qui se superposent dans l'acte de la cristallisation et c'est tout ce que nous avons besoin de savoir !

Une telle idée aura tout au moins le mérite d'écarter de la cristallographie tout système sur la structure primitive de la matière, et par suite empêchera à la chimie de communiquer à la science des cristaux, l'immense diversité de ses hypothèses. C'est grâce à l'élimination des problèmes connexes, que celui de la forme des cristallisations les plus diverses sera susceptible d'être réduit au langage mathématique qu'Haüy construira plus tard ! Les « digressions académiques » ont servi à mettre la science sur la voie des abstractions simplifiantes.

Mais si Guyton de Morveau néglige volontairement certains aspects de la question qui risqueraient d'obscurcir inutilement l'ordre de ses pensées, il recherche lui-même certaines lois que l'école d'Haüy ne discutera pas et ignorera complètement ; il suffit, dit-il, pour expliquer la dissolution et la cristallisation, de tirer toutes les conséquences des trois vérités suivantes qui découlent elles-mêmes de la loi d'attraction universelle : 1° *Toute la matière est attirée au centre de la terre ;* il suit de là que tout corps est absolument pesant ; 2° *Cette attraction est proportionnelle à sa densité* ; tout corps peut donc cesser d'agir par la pesanteur s'il est situé dans un milieu plus dense ; 3° *Cette attraction est constante entre toutes les parties de la matière* ; d'où l'on conclut que tout corps peut cesser d'obéir à la loi de l'attraction au centre de la terre s'il est suffisamment attiré par un autre corps, pour que cette première attraction soit vaincue de manière qu'il soit soutenu par cet autre corps et ne puisse graviter qu'avec lui.

Nous voici maintenant en mesure d'aborder les phénomènes de dissolution et de cristallisation. Quelles sont les conditions nécessaires pour qu'un corps puisse se dissoudre dans un liquide ? Tout d'abord et cela est évident, il

faut que cette substance soit atténuée et extrêmement divisée ; mais cela n'est pas suffisant ; l'équipondérance, c'est-à-dire le rapport exact de gravitation entre le fluide dissolvant et la matière soluble, est également important ; c'est parce que ce rapport n'existe pas entre l'huile et l'eau par exemple, que ces deux fluides ne peuvent se réunir pour former un tout homogène à l'encontre de ce qui se produit dans les solutions salines.

Qu'est-ce que la cristallisation ? « Je la définirai dit Guyton de Morveau, une opération par laquelle une infinité de parties similaires qui se trouvent actuellement en équilibre avec un fluide quelconque, sont déterminées à se rapprocher par la soustraction d'une certaine portion de ce fluide, et à former avec la portion qui demeure des masses régulières, telle que la figure de ces parties les décide constamment par l'attraction prochaine réciproque, quand elle n'est pas vaincue, ou par quelque percussion ou par la gravitation centrale, c'est-à-dire la pesanteur » ; l'explication qu'il se propose d'en donner est uniquement physique « et fondée sur les lois générales de la gravitation et du mouvement » ; les seules propriétés invoquées par l'auteur sur les différentes matières sont « la densité et la figure »... mais alors, on peut par une expérience de mécanique bien faite, remplacer les molécules infiniment petites des sels par des morceaux métalliques de même forme qui en se réunissant à la surface d'un liquide forment des assemblages réguliers.

« Tout le monde sait que les petites aiguilles posées horizontalement sur l'eau y surnagent. Si l'on en place plusieurs successivement dans un même vase, on les voit s'attirer et se mouvoir jusqu'à ce que, se touchant toutes sur leur longueur, elles aient formé un faisceau ; la manière dont ce faisceau se forme est surtout remarquable : par exemple si après avoir placé une de ces aiguilles seule au milieu d'un vase de 9 à 10 pouces de diamètre, on en place une autre vers la circonférence, assez éloignée du bord pour que la matière du vase qui agit sur elle ne la

retienne pas, on voit cette seconde aiguille prendre d'elle-même sa route vers la première, son mouvement s'accélérer à mesure qu'elle en rapproche et celle-ci qui était absolument au repos tendre réciproquement à la réunion ; si ces deux aiguilles se sont trouvées tout de suite parallèles sur leur longueur, elles s'y fixent et ne bougent plus. Si lors de la rencontre elles se touchent par leurs extrémités, alors elles s'appliquent toutes les deux fort rapidement l'une sur l'autre ; il peut arriver enfin que la deuxième vienne frapper par l'une de ses extrémités le grand côté de l'autre, en formant avec elle une ligne perpendiculaire ou plus ou moins oblique, et ce cas est le plus fréquent, parce que le mouvement de la deuxième étant plus facile dans cette direction, elle la prend insensiblement par celle de ses extrémités qui est plus voisine de l'autre : alors les deux aiguilles s'accollent encore ; mais comme l'attraction n'est pas satisfaite, en ce que l'une dépasse l'autre, et qu'il peut y avoir contact plus parfait, celle de ces aiguilles dont l'attraction est plus active, parce qu'elle est plus en mouvement, plus éloignée de l'état d'inertie, glisse aussitôt sur l'autre, elle l'excède en un instant ; et comme si la force de l'attraction l'eut emportée au delà du but, elle prend un mouvement rétrograde qui la place enfin dans le seul point où elle peut trouver le repos, c'est-à-dire touchant l'autre dans tous les points de sa longueur.

« Ce mécanisme que j'ai vu se répéter une infinité de fois, et toujours de la même manière, peut réunir en un seul faisceau autant de petites aiguilles que l'eau en peut porter. J'en ai compté jusqu'à 28 ainsi groupées, et qui représentaient exactement un cristal nitreux jusque dans les variations accidentelles que l'on peut remarquer dans la cristallisation de ce sel ; on ne doit pas en être étonné puisque la figure de ses molécules est la même que celle de nos aiguilles ; personne n'ignore qu'en refroidissant promptement une dissolution de nitre avant qu'elle soit suffisamment évaporée, elle donne une infinité de petites

aiguilles qui sont de vrais cristaux dont nos yeux n'ont pu apercevoir les éléments, et qui deviennent eux-mêmes les éléments de cristaux plus considérables. Après un exemple aussi frappant, après avoir vu un effet analogue aussi constant du même principe, je ne pense pas qu'on soit tenté de recourir à des causes occultes pour expliquer la cristallisation. »

Au contraire, cette simple expérience fait comprendre le mécanisme de la formation des cristaux, de la manière la plus satisfaisante que l'on puisse imaginer. On peut d'ailleurs la répéter en changeant la nature du métal, et surtout en variant la forme des petits solides posés à la surface de l'eau ; un simple calcul géométrique permettra à l'observateur de prévoir quelle figure prendra l'assemblage en apparence fortuit de tous ces minuscules flotteurs infiniment plus grands pourtant que les molécules cristallines ; mais si la connaissance de la forme des parties nous a laissé deviner la figuration du tout, réciproquement la connaissance des formes cristallines « permettra de déterminer avec certitude la figure des parties primitives de tous les corps cristallisés, parce que toute masse régulière ne peut être composée que de parties qui aient une forme génératrice de la forme qui résulte de leur union suivant une loi connue ; or, de même qu'il n'est pas possible de concevoir qu'il puisse résulter d'une infinité de cubes, quelques petits qu'ils soient, une masse sphérique quelconque, ni même qui en aient une apparence grossière, dès qu'on admettra dans le mécanisme de leur union la nécessité du contact le plus parfait, de même, on peut assurer qu'une masse cubique résulte nécessairement d'une infinité de molécules de même forme, qu'un cristal cylindrique est le produit de plusieurs cylindres insensibles ; et ainsi des figures plus composées des autres solides. »

7. Les hypothèses mécaniques, comme les applications immédiates de la loi d'attraction universelle, laissent peu

à peu le champ libre aux théories de structure ; la cristallographie que Guyton de Morveau rattache aux principes de Descartes ou de Newton, s'achemine dans son œuvre même vers une construction mathématique servant pour ainsi dire de cadre à nos observations ; l'esprit de la méthode d'Haüy, son langage, la direction générale de ses travaux se laissent déjà pressentir dans les « digressions académiques ». Seulement ils ne se dégagent pas de l'ensemble des autres méthodes avec lesquelles ils se trouvent mêlés.

Toutefois les différents courants de pensée un instant confondus et réunis ne suivront pas longtemps la même route ; l'un, plus superficiel, plus séduisant, plus large et plus étalé, mettra la science des cristaux au centre des connaissances humaines ; c'est lui qui inspira aux naturalistes, à Buffon, à Guéneau de Montbeillard, à Lamétherie, l'idée que la vie n'est due qu'à la cristallisation de la matière vivante ; c'est lui qui vers la fin du siècle inspira à Lamétherie son hypothèse de la cristallisation universelle réduisant la philosophie à n'être qu'un chapitre de la cristallographie ! D'une manière plus générale, il intéressera les savants aux théories de la cristallisation aux analogies remarquables de la cristallisation et des autres phénomènes, à l'étude hypothétique ou expérimentale des conditions et des circonstances de la cristallisation, plutôt qu'aux descriptions et aux classifications des cristaux.

Au contraire, l'autre courant de la science, plus approfondi que brillant, plus limité, plus étroit, moins apparent et accessible, spécialisera les cristallographes dans leur domaine propre dont avec Haüy ils ne sortiront plus ; il délimitera leur labeur qu'il rendra à la fois plus modeste, moins philosophique, plus rigoureux, moins prétentieux, plus minutieux, plus exact ! C'est de cette évolution qu'est sortie la construction du langage cristallographique qui sert encore aujourd'hui de préface à la science des cristaux. C'est encore grâce à ce mouvement

que les savants s'habituèrent aux mesures précises et rigoureuses, aux calculs pénibles et compliqués qui avaient auparavant rebuté tant d'amateurs.

Il nous faut examiner les méthodes, les résultats et l'influence qu'eurent à la fin du XVIII[e] siècle ces deux manières de comprendre la cristallographie ; commençons par la première qui laissa des traces moins durables.

Guyton de Morveau lui-même nous montrera comment la cristallographie a pu déborder de sa route pour atteindre le domaine des sciences environnantes, plus spécialement de la chimie. Si la dissolution, dit-il, n'est véritablement qu'un phénomène physique et mécanique, il en est de même de la fusion qui rend certains corps liquides sous l'influence de la chaleur ; il résulte de cela que nous pourrons considérer les fluides comme des corps solides dissous par la matière du feu. Réciproquement la solidification sera due au retrait de la matière du feu dissolvante, comme la cristallisation des sels est due à l'évaporation de l'eau qui les avait dissous. C'est ainsi que les métaux dissous par le feu se cristallisent par l'absence de la plus grande partie du dissolvant ; mais en se refroidissant, en se solidifiant, les cristaux retiennent une partie du milieu fluide qui leur avait pour un temps communiqué son état. Dans certaines conditions expérimentales, les chaux métalliques qui se sont imprégnées de feu principe se transforment en métaux brillants et combustibles. « Le phlogistique est donc aux métaux ce qu'est aux sels l'eau qu'ils retiennent dans leur cristallisation. »

Voici la science des cristaux appelée à servir de modèle aux chimistes qui étudient les phénomènes encore inexpliqués de combustion ou de réduction. Qu'est-ce donc que ce phlogistique qui à l'époque où Lavoisier a commencé ses travaux était invoqué par tous les savants ? Est-ce un élément, un principe que nous sommes actuellement impuissants à isoler, mais qui entre dans la composition de la plupart des corps et qui sous l'action du feu se trans-

porte d'une substance à l'autre ? Est-ce au contraire une puissance contenue à l'état potentiel et qui disparaît en se dissipant après avoir été utilisée ? La théorie peu précise, oscilla constamment de la forme chimique à la forme énergétique. Et elle n'adoptera franchement la forme chimique qu'après les succès de Lavoisier, lorsque les recherches concernant les équilibres physiques et chimiques laisseront place à l'étude des propriétés et des discontinuités nettement sensibles qui caractérisent chaque corps défini. Comme la cristallographie, la chimie passa du stade explicatif au stade descriptif ; comme la cristallographie, elle se cantonna dans son domaine. Si donc la cristallographie a pu fournir à la chimie l'idée que la fusion et la dissolution sont deux phénomènes similaires, si encore elle a pu inspirer l'analogie élégante du phlogistique ou feu principe et de l'eau de cristallisation, comme l'analogie du feu libre non combiné et de l'eau surabondante à la cristallisation, elle n'eut sur cette dernière science aucune influence durable ; et aucune action réciproque de la chimie sur la cristallographie n'est à signaler.

Par une toute autre méthode, l'apothicaire Baumé (1), en simplifiant et en généralisant sa théorie, voulut faire de la cristallisation le modèle et le but de tous les phénomènes naturels. Pour se représenter la genèse et la structure des cristaux, il ne retient que deux points importants. Tout d'abord, dit-il à propos des sels cristallisés, « il est à présumer que la figure des molécules primitives est différente dans les différents sels, mais que les molécules de chaque sel ont constamment la même figure ». Il ne vérifie pas ce qu'il avance, car il sait que le microscope, trompant nos espérances chimériques, ne nous a jamais fait voir les particules insécables de la matière. Voici le second point de la théorie : ces particules hypothétiques dont la figuration est spécifique de chaque sel

1 J. P. 1772, chimie, 1777.

étant données, elles se réuniront suivant certaines lois constantes pour former des cristaux, de même qu'elles s'étaient éloignées suivant des principes fixes pour se liquéfier ou pour se dissoudre ! Généralisons cette certitude ; appliquons-la à l'ensemble des corps de la nature, et nous dirons comme Baumé « qu'ils sont nécessairement composés de molécules infiniment petites dont il est difficile de déterminer la figure ; mais qu'il est à présumer que celle des molécules intégrantes varie dans les différents corps comme les éléments varient entre eux. Peut-être y a-t-il des figures élémentaires et qui servent comme d'éléments ou de principes pour donner une figure quelconque à des petits corps qu'on pourrait regarder comme des molécules intégrantes. Quoi qu'il en soit, il est certain que pour le peu qu'on examine les différents corps, on n'en trouve aucun qui ne porte plus ou moins avec lui le caractère d'arrangement symétrique qui suppose une figure déterminée dans les mollécules primitives dont il est composé et que l'attraction a présidé à leur arrangement. Si dans beaucoup de corps nous ne pouvons pas reconnaître le même ordre, il n'y existe pas moins ; les instruments nous manquent pour l'observer ; mais aussi, il y a un grand nombre d'autre corps, tels que les pierres cristallisées, les mines, les pyrites, les demi-métaux, les sels, etc., où cet arrangement symétrique est si marqué qu'il n'est pas nécessaire d'instruments pour le reconnaître ; et ce qui pourrait faire penser que le but de la nature a été de former tous les corps par cristallisation ; et en effet, ils portent tous ce caractère avec eux ».

Or pour connaître un phénomène aussi constant, les théories quelques générales qu'elles soient, sont insuffisantes et incomplètes ; afin d'être maîtres de nos principes il faut que nous les voyions manœuvrer dans un cas particulier choisi au hasard ; ils faut qu'ils soient adaptés à l'expérience, qu'ils l'expliquent, qu'ils nous la fassent prévoir ; examinons, pour prendre un exemple, la formation des cristaux salins se déposant au sein d'une solution

aqueuse ; nous savons que ces cristaux réguliers sont dus à l'agglomération symétrique de particules très petites et régulières; il s'agit pour nous uniquement de connaître les lois qui régissent le rapprochement puis le rassemblement des particules. Quelles sont ces lois? Se réduisent-elles comme le veut Baumé à l'attraction et à la répulsion que les molécules exercent les unes sur les autres? Les auteurs (1) ont jusqu'à présent uniquement tenu compte de la force attractive et leurs théories se sont montrées insuffisantes? pourquoi la force répulsive n'existerait-elle pas au même titre? « Elle doit commencer là où la force attractive cesse » ; elle est opposée à la force attractive comme le signe algébrique moins est opposé au signe plus; — elle nous rendrait peut-être raison des particularités de la naissance des cristaux; — en tous cas les expériences de Baumé semblent préciser son rôle.

« Il a constaté par plusieurs expériences qu'à la faveur de ces deux propriétés, on peut forcer un sel à cristalliser à volonté dans un des côtés du vase. Alors il ne se forme point de cristaux dans les autres côtés de ce même vase... Voici une des expériences que Baumé a faite. Ce chimiste a mis dans une cucurbite de verre une dissolution de sel de Glauber au point de cristallisation, et il a placé à un des côtés du vaisseau une bouteille remplie de sel de Glauber identique; il a remarqué que quand rien d'étranger ne s'oppose aux effets qui arrivent, le sel de Glauber de la bouteille agit même au travers du verre sur celui qui est en dissolution, il l'attire et l'oblige à cristalliser de son côté. Cette attraction est si bien marquée qu'il ne se forme que peu ou point de cristaux dans les côtes opposés. M. Baumé a fait les mêmes observations sur plusieurs autres sels; mais il n'a pu encore faute de temps rassembler un nombre suffisant d'expériences pour constater tous les phénomènes sur lesquels cette décou-

1. Newton dans la question 31 de son optique a le premier parlé de la force répulsive.

verte peut nous éclairer et pour connaître quels sont les sels qui ont la propriété de s'attirer et quels sont ceux qui ont celle de se repousser.

Ces expériences, dit le *Journal physique*, gagneraient à être répétées attentivement; il faudrait en instituer d'autres sur des sels susceptibles de se repousser; peut-être seraient-elles favorables au système de la répulsion, et nous apprendraient-elles à mieux connaître la marche de la cristallisation des sels; peut-être encore pourraient-elles répondre à une question très importante que Baumé a oublié de poser : « A quelles distances les actions moléculaires se manifestent-elles? »

Avant que de nouvelles recherches aient pu s'engager dans la voie ouverte par Baumé, le vigoureux bon sens de Lavoisier (1) vint détruire ce système aussi fragile qu'ingénieux! D'abord le grand chimiste constate que les expériences de Baumé sont exactes; il ne conteste que leur interprétation, à son avis hypothétique et sans valeur. L'attraction et la répulsion sont pour lui des mots vides de sens: il refuse d'expliquer un effet physique constant par ces qualités hypothétiques et inaccessibles à l'expérience. Il y a un moyen plus simple d'expliquer les faits observés.

Le sel de Glauber cristallisé, affirme Lavoisier, n'attire pas les molécules de sel de Glauber dissous et ne les force pas à cristalliser par sa seule présence au voisinage du cristallisoir; il n'a d'autre action que de refroidir brusquement le verre avec lequel il est en contact, de refroidir la solution au contact de ce verre et par là de provoquer la cristallisation du sel; la preuve en est que si l'on sait, en prenant différentes précautions, éviter les différences de températures, le sel de Glauber extérieur n'exerce aucune action sur le contenu des bocaux.

Ce résultat acquis, Lavoisier, pour le confirmer, va tenter de garantir un des côtés du vase contre le refroidissement

1. J. P., 1773.

par l'application d'une matière isolante, laissant pour comparaison l'autre côté à l'air libre. « Il en résultait constamment que les cristaux, au lieu de se former uniformément dans la liqueur, se jettaient du côté où le refroidissement était le plus prompt. »

C'est ainsi qu'en plaçant un tampon épais de sable tiède contre un côté du bocal, et en laissant l'autre côté se refroidir par rayonnement, on observe que le sel cristallise du côté opposé au sable. « Cet effet, dit Lavoisier, n'a rien de mystérieux ; il n'est pas particulier au sable ; toute substance en produit un semblable ; et le sel de Glauber, lui-même, en poudre appliqué à un des côtés du vase tandis que l'autre demeure exposé à l'air, loin d'attirer les cristaux, les oblige comme le sable et pour la même raison à se porter du côté opposé. »

Les expériences de Lavoisier donnent une leçon sévère à ceux qui se laissent guider par une imagination brillante et superficielle, au lieu de faire la critique constante de leurs opinions ; nous devons examiner toutes les variables susceptibles de modifier les événements que nous observons, avant d'interpréter les faits d'une manière systémaque ; et nous voilà maintenant mis en garde contre toute généralisation ambitieuse et prématurée ! Lavoisier va-t-il avec le même bonheur et la même intelligence nous expliquer lui aussi les phénomènes de la cristallisation ? Il semble bien que ce grand chimiste n'ait eu à ce propos que les idées banales de son temps, idées que ses découvertes modifièrent dans les détails, mais laissèrent constantes dans les grandes lignes.

Et d'abord, bien que des expériences géniales aient fait disparaître de la science « l'élément du feu » qui n'est qu'un résultat violent et immédiat de certaines oxydations particulièrement rapides, Lavoisier (1) ne refuse pas d'accorder une certaine matérialité à la chaleur. Celle-ci agit comme un dissolvant énergique capable de faire passer

1. *Éléments de chimie*, 1789.

la plupart des corps de l'état solide à l'état fluide ; comme les autres dissolvants, elle peut en se dissipant abandonner le soluble qui reprend l'état solide — « lorsque les molécules d'un corps sont simplement écartées par le calorique, et qu'en vertu de cet écartement, ce corps est porté à l'état liquide, il ne faut pour le ramener à l'état de solide, c'est-à-dire pour opérer sa critallisation, que supprimer une partie du calorique logé entre ses molécules, autrement dit de le refroidir ». Cette théorie est absolument semblable à celle de Guyton de Morveau. Voici qui est plus original : le calorique en se mélangeant aux autres dissolvants peut augmenter leur puissance ou accélérer leur action ; ainsi la matière de la chaleur peut se joindre à l'eau qui dans ce cas dissout rapidement les sels qui y baignent. Ce calorique, comme il fallait nous y attendre, joue également son rôle quand les sels viennent à se déposer. « Tous les phénomènes qui ont lieu dans la solution des sels se retrouvent également dans leur cristallisation, mais dans un sens inverse. Il y a dégagement de calorique au moment où le sel se réunit et reparaît sous forme concrète et solide, et il en résulte une nouvelle preuve que les sels sont tenus en dissolution par l'eau et par le calorique. C'est pour cette raison qu'il ne suffit pas pour faire cristalliser les sels qui se liquifient aisément par le calorique de leur enlever l'eau qui les tenait en dissolution, il faut encore enlever le calorique, et le sel ne cristallise qu'autant que ces deux conditions soient remplies. Le salpêtre, le muriate oxygéné de potasse, l'alun et le sulfate de soude en fournissent des exemples. Il n'en est pas de même des sels qui exigent peu de calorique pour être tenus en dissolution et qui par cela même sont à peu près également solubles dans l'eau chaude et dans l'eau froide ; il suffit de leur enlever l'eau qui les tenait en dissolution pour les faire cristalliser et ils apparaissent sous forme concrète dans l'eau bouillante même, comme on l'observe relativement au sulfate de chaux et à d'autres sels. »

Cette page bien lue nous explique l'attitude de Lavoisier vis-à-vis des problèmes de la cristallisation, son abandon de toute théorie mécanique sur le groupement des particules et de leurs attractions hypothétiques, sa proclamation de l'identité des critallisations obtenues par solidification ou par dépôt des solutions sursaturées, l'attention qu'il porte aux circonstances de la cristallisation et non, comme le voulait Baumé, sur ses causes.

Il résulte de tout cela, qu'au lieu de comparer entre elles, de chercher une commune mesure entre les figurations des cristaux d'un même corps obtenus par les voies les plus diverses, Lavoisier sera infiniment plus frappé de leurs dissemblances apparentes que de leurs ressemblances réelles. Voici d'ailleurs comment il s'exprime à ce sujet. « Non seulement tous les sels cristallisent sous différentes formes, mais encore la cristallisation de chaque sel varie suivant les circonstances où elle se produit. Il ne faut pas en conclure que la figure des molécules salines ait rien d'indéterminé dans chaque espèce ; rien n'est plus constant au contraire que la figure des molécules primitives des corps surtout à l'égard des sels. Mais les cristaux qui se forment sont des agrégations de molécules, et les molécules, quoique toutes parfaitement égales en figure et en grosseur, peuvent prendre des arrangements différents qui donnent lieu à une grande quantité de figures toutes régulières et qui paraissent quelquefois n'avoir aucun rapport ni entre elles, ni avec la figure du cristal originaire. »

Nous voyons que malgré le positivisme de sa méthode, Lavoisier se refuse à faire de la cristallographie une science uniquement descriptive ; il est préoccupé par les réactions mutuelles des différents milieux qui concourent à la formation même du cristal ; et il ne semble guère pressentir que les savants comme Romé de l'Isle et Haüy qui font abstraction du phénomène de la cristallisation pour décrire les formes géométriques des cristaux, sont les pionniers de la science ; il orienterait plutôt celle-là vers l'étude de la genèse des cristaux, de leur accroisse-

ment plus ou moins régulier, de leurs propriétés par rapport au milieu cristallogène. Et voici précisément l'œuvre de Nicolas Leblanc !

Celui-ci s'est proposé de déterminer les conditions qui obligent une espèce donnée à prendre telle figuration plutôt que telle autre (1) ; l'alun par exemple se présente en cristaux cubiques ou en cristaux octaédriques suivant les différences de composition des solutions qui le déposent (2) ! Il en est de même des autres sels, et l'on devrait pouvoir prévoir *à priori* les formes de cristallisation que chacun d'eux prendra dans des milieux différents (3).

Et d'abord il nous faut préciser. « Les cristaux, dit Le Blanc, sont susceptibles de deux espèces de variation ; les unes donnent des formes réellement distinguées les unes des autres, et dont le nombre est limité d'après les « lois de la cristallisation ». Tel est le cas précisément de l'alun qui se cristallise soit en cubes, soit en octaèdres. Les autres variations ne sont que des variations accidentelles d'une même forme. » Ainsi les facettes du cube d'alun peuvent être suivant les cas plus allongées ou plus larges ; elles peuvent varier de superficie sans altérer l'aspect de l'ensemble ; les angles dièdres, ainsi que les minéralogistes descripteurs l'ont démontré, restent constamment d'égale valeur dans les variations accidentelles ; et cela seul permet d'établir une cristallographie mathématique et descriptive, représentant la structure des cristaux mais négligeant leur formation. « Mettre à nu, s'écrie Le Blanc, au moyen de la dissection le noyau d'un cristal ; par là découvrir la forme primitive des molécules du sel qui l'a produit ; démontrer que tous les changements de forme dans les sels tiennent à des lois qui peuvent être saisies, calculées, c'est donner de la précision à la science, faire

1. J. P., 1787.
2. 1788.
3. Cristallotechnie et J. P., 1802.

disparaître les lacunes des fausses théories, assurer la marche du cristallographe et présenter au philosophe une nouvelle occasion d'admirer la nature dans l'une de ses plus belles opérations. *Cette découverte suffit au géomètre* » ou au naturaliste ; elle n'est pourtant pour le physicien qu'une des données fondamentales avec lesquelles il explique et se rend le maître des phénomènes.

Or, celui-ci recherche avant tout à diriger la cristallisation des sels, à déterminer les conditions qui forceront chaque nouveau cristal à prendre telle figuration. Produire cette forme à volonté, la provoquer, la modifier, tel est le but de la cristallotechnie ou « élevage rationnel des cristaux ». L'art ainsi défini est à la fois scientifique et précis ; les variables agissant dans chaque cas sont nécessairement peu nombreuses ; le nombre de figurations d'une même espèce cristalline est limité, petit et calculable d'avance ; ainsi les expériences bien faites permettent-elles de vérifier le principe de causalité. Dans les mêmes conditions de milieu, une même espèce donnera toujours des cristaux absolument semblables. Ceci posé, dit Leblanc, trois ordres de phénomènes doivent être considérés quand on veut déterminer le mécanisme de la cristallisation :

1° Les phénomènes de composition : voilà la première difficulté ; certains sels sont formés d'une certaine quantité d'acide exactement saturée par une quantité fixe d'alcali ; d'autres retiennent dans leurs cristaux un excès, soit d'acide, soit de base ; d'autres encore se mélangent pour former des mélanges homogènes appelés surcomposition. « Plusieurs sulfates se combinent parfaitement entre eux et en toutes proportions ; ceux du fer et du cuivre sont dans ce cas et il en résulte toujours des rhomboïdes ; je ne crois pas que l'on puisse considérer ce résultat comme une simple interposition. Les instruments d'optique seraient d'un grand secours dans la recherche de tous ces phénomènes ; c'est une branche d'observation dans laquelle il ne paraît qu'aucune personne ait encore fait aucun travail suivi et cette propriété admirable présenterait sans

doute des phénomènes intéressants et un nouveau champ à parcourir. »

Voici, indiquée sommairement, la voie féconde dans laquelle Mitscherlich se lancera et découvrira l'isomorphisme !

2° Les phénomènes qui dépendent du rapport d'union entre le sel et son menstrue ou dissolvant ; — pour les reconnaître il nous faut d'abord étudier la structure des solutions. « Les parties salines divisées par un fluide paraissent lui adhérer molécule à molécule sans souffrir de décomposition ; mais il s'en faut bien qu'elles soient en aucun cas en équipondérance absolue avec les particules du dissolvant. » Ainsi les différents constituants du mélange réagiront d'une manière diverse à l'action de la pesanteur, et il ne restera pas homogène ; l'expérience suivante le démontre. « J'ai mis, dit Leblanc, dans un vase de deux pouces de diamètre sur deux pieds de hauteur, une dissolution assez rapprochée (suffisamment concentrée) pour alimenter des cristaux que j'avais suspendu à différentes distances jusqu'à la surface ; j'ai remarqué que l'accroissement était d'autant plus considérable que le cristal se rapprochait davantage du fond du vase. »

La position du cristal au sein du liquide qui le « nourrit » est donc susceptible de faire varier sa forme ; ses déplacements écarteront les facettes les unes des autres, ou au contraire les rapprocheront, augmenteront ou diminueront la longueur des arrêtes limitrophes ; et par là sont intéressants à étudier ; mais, et c'est un point important à élucider, dans une même solution, les cristaux auront tous tendance à prendre une figuration cristallographiquement semblable ; en d'autres termes, leurs facettes seront toujours situées dans des plans parallèles à celle des autres cristaux nés dans les mêmes circonstances ! Ainsi, suivant la solution dans laquelle un cristal d'alun sera élevé, il donnera un octaèdre ou un cube ! Nous pourrons même assister si nous varions la composition de la liqueur cristallogène, au passage de l'octaèdre

au cube puis du cube à l'octaèdre ! La figuration d'un cristal nous renseignera sur la dernière solution dans laquelle il a passé, maïs sur celle-là seule ; car par l'addition de nouvelles couches, les irrégularités ou les blessures de son passé s'effacent peu à peu et disparaissent... Mais voici où la question se complique : les solutions s'appauvrissent en abandonnant constamment une partie de leur soluble à la cristallisation ; leur composition varie ; par suite, leur action sur la forme d'un cristal sera loin d'être constante ; il arrive même parfois que les bords du nouveau solide se dissolvent à nouveau dans le fluide environnant ! De là les irrégularités et les bizarreries de la cristallisation, que tant d'auteurs croient pouvoir appeler un jeu de la nature...

3° Les phénomènes qui dépendent des causes extérieures ! Celles-ci concourent simplement à troubler la cristallisation ; elles agissent sur les solutions et indirectement sur les cristaux en formation. L'influence de l'air, de la température, des variations météorologiques, ajoutent leurs actions perturbatrices à celles déjà signalées.

Voilà les phenomènes qui concourent à donner aux cristaux une configuration nette ou peu précise ; nous voyons que leur maniement est délicat, que la cristallotechnie devra en éliminer quelques-uns, augmenter l'action des autres pour se rendre véritablement maîtresse des cristallisations. Elle étudiera spécialement les relations d'équilibre entre les différents milieux, dont les variations sont continues et toutes de nuance. Or, ces recherches à mesure que le temps passe semblent de moins en moins intéressantes ; les savants des jeunes générations ont tendance à les remplacer par des considérations sur les corps parvenus à l'état de stabilité, à signaler leurs irréductibles différences, bref à les classer, à les ranger dans des cadres invariables et fixes dont ils ne pourront plus sortir ; la théorie de la cristallisation laisse peu à peu le premier rang à la cristallographie géométrique ; sous l'Empire

elle cessa d'exister, et fut considérée comme un pur bavardage philosophique à négliger.

Ce n'est que beaucoup plus tard que l'on s'intéressa de nouveau à la genèse et à l'accroissement des cristaux ; mais les travaux de Leblanc ne sortirent jamais de l'oubli.

Jean-Claude de Lamétherie (1) fut le dernier de ces philosophes hardis et généralisateurs qui proposèrent leur théorie de la formation des cristaux comme modèle à toutes les autres sciences. Il émit et défendit toute sa vie avec âpreté l'hypothèse de la cristallisation universelle dont il avait fait la base d'un système du monde aujourd'hui oublié ! Il contribua indépendamment de ses opinions à provoquer les savants à étudier la cristallographie ; il lui donne une large place dans le *Journal de physique* dont il devint propriétaire, et lui consacre un long paragraphe dans le *Tableau annuel des recherches scientifiques* publié dans le numéro de janvier, où elle se présente comme distincte de la physique, de la chimie et de la minéralogie.

Lamétherie croit être un novateur hardi, et développe avec enthousiasme et fougue une multitude d'aperçus d'allure révolutionnaire ; si l'on y regarde de près l'on s'aperçoit que malgré ses prétentions, il n'est que le dernier terme d'une longue série de savants, qui depuis Bourguet, en passant par Buffon, Guéneau de Montbeillard, Guyton de Morveau, Baumé et d'autres, expliquèrent les phénomènes les plus variés de la fusion et de la dissolution, de la solidification et de la cristallisation par une application fort simple de théories cinétiques réglant les actions réciproques de masses d'innombrables molécules dont le rapprochement ou l'éloignement forment ou détruisent les corps !

La pensée de Lamétherie n'est donc pas originale ; par contre elle est douée d'une saisissante vigueur, et sa lo-

1. Très nombreux ouvrages de 1778 à 1817.

gique jamais en défaut, pousse ses conclusions à leur extrême limite. Cet esprit du XVIII[e] siècle qui refuse de se laisser pénétrer par les nouvelles tendances de la science, symbolise en le résumant le grand courant qu'il termine !

D'autres avant lui supposèrent que peut-être la nature a voulu former tous les corps par cristallisation ! Aucun n'avait affirmé la « cristallisation générale de la matière » qui n'est qu'une transposition énergique de la même idée ; mais aussi il conclut de suite : « c'est donc par cristallisation que la nature forme tous les corps que nous lui voyons produire journellement ! »

Ceci posé comme vérité primordiale, nous dirons avec Lamétherie que la cristallisation des grands globes sera l'objet de l'astronomie ; que celle des couches terrestres formera la géologie ; celle des êtres vivants la biologie et même la psychologie ; celle des éléments, la physique, la chimie et la cristallographie proprement dite !

Des explications semblables seront valables pour tous les ordres de phénomènes, réglés les uns comme les autres par le déterminisme le plus absolu !

Quelles sont les lois générales qui président à la cristallisation de la matière ? Dépendent-elles toutes de la gravitation universelle comme quelques-uns le croient ? Non, « la cristallisation régulière est absolument impossible à concevoir par l'attraction, car comment les particules pourraient-elles former un cube par exemple ? L'attraction agissant en tous sens formerait plutôt une sphère. Or, la cristallisation est un des phénomènes les plus généraux de la nature ; elle est la cause de la dureté des corps et de leurs configurations. L'attraction, ne pouvant être cause de tous ces phénomènes, doit être regardée comme purement hypothétique ; nous avons d'autres faits qui déposent contre ces prétendues lois de la nature !

Il nous faudra donc renverser l'opinion habituelle des philosophes ; ce n'est pas l'attraction, comme ils pensent, qui provoque quelquefois la cristallisation. Bien au con-

traire, la cristallisation universelle a comme conséquence l'attraction et la pesanteur... mais, pour suivre Laméthe-rie dans son système général du monde, il faut bien se rendre compte qu'il simplifie la définition de la cristallisation afin de la voir toujours et partout agir !... « Il est de fait, dit-il, que toute la matière cherche sans cesse à se combiner ; elle affecte toujours des formes régulières dans ses combinaisons ; on a désigné cette action à l'égard des substances salines et minérales par le mot cristallisation ; la même cause produisant toutes les autres combinaisons de la matière, j'ai cru devoir l'exprimer par le même terme. Je n'entends donc par cristallisation que cette force qui fait combiner toute la matière et la fait combiner sous des formes régulières. » La cristallisation résulte du passage de l'état liquide à l'état solide ; elle s'opère le plus souvent au sein de solutions aqueuses qui laissent déposer les sels solubles ; elle se produit parfois dans le cas des métaux ou du soufre, par refroidissement, c'est-à-dire par la dissipation du fluide calorique dans le milieu environnant. Cette matière de la chaleur se présente soit comme un solvant, soit comme un principe constituant des corps, qui disparaît en donnant des flammes chaudes lors des combustions vives... Tout le monde reconnaît ici la théorie du phlogistique dans son mélange systématique de l'énergétique et de la chimie !

Quoi qu'il en soit, Laméthérie ne considère que le physique de la cristallisation. Abandonnons comme lui toute tentative prématurée sur la composition des corps et leurs réactions chimiques violentes, pour voir les nuances de leurs équilibres réciproques.

Et d'abord le tempérament philosophique abstrait de Laméthérie l'éloignera des observations précises, modestes, savantes, qui feront la gloire de la méthode d'Haüy pour le conduire à imaginer des expériences qu'il se souciera peu de réaliser ! C'est dire qu'il nous fournira non des descriptions de cristaux mais des spéculations sur le mécanisme de la cristallisation.

Il va jusqu'à énumérer toutes les circonstances dans lesquelles les cristaux peuvent se produire.

1° Par l'évaporation ; c'est la méthode la plus usitée pour faire cristalliser les sels ;

2° Par le refroidissement. « La chaleur favorise la dissolution des substances solubles ; mais la portion que cette chaleur fait dissoudre cristallise aussitôt que cette chaleur se dissipe et que la liqueur se refroidit. »

3° Par les différences d'agitation du dissolvant. « Un dissolvant qui est agité tient en dissolution une plus grande quantité de sels que s'il était en repos. » Les solutions ne sont pas homogènes ; le fond des vases est généralement plus chargé de sel que le haut et le mouvement du fluide tend à rétablir l'équilibre ; quand il vient à cesser, certaines matières se déposent.

4° Par la volatilisation d'un excès d'acide. « De l'eau surchargée d'acide, tenant en dissolution des substances, pourra les laisser cristalliser si cet excès d'acide lui est ôté. » C'est ainsi que les eaux pétrifiantes laissent se déposer le calcaire quand l'air fixe se dissipe.

5° Par l'addition d'un sel plus soluble. « Si dans une dissolution d'un sel quelconque, on ajoute un autre sel plus soluble, celui-ci se dissoudra et une partie du premier cristallisera. » Si par exemple l'on ajoute du nitre à une dissolution saturée de sel marin, ce nitre se dissoudra et une partie du sel marin cristallisera.

6° Par la combinaison des sels. « Deux quantités données d'eau peuvent tenir chacune en dissolution une certaine quantité de substances salines, si on les mélange, il se formera un sel composé qui cristallisera. » Supposons une livre d'eau chargée d'air fixe ou d'acide vitriolique ; supposons une autre livre d'eau contenant de l'alcali caustique en dissolution jusqu'à saturation, qu'on mélange ces deux livres d'eau, il en résultera des sels neutres dont une partie cristallisera, parce que les deux livres d'eau ne pourront les tenir en dissolution.

7° Par la décomposition des sels. « De l'eau chargée

d'un sel très soluble, rencontrant un autre sel qui décompose celui-ci, s'y combine pour en former un troisième insoluble : il y aura cristallisation. » Ceci est un cas particulier des règles chimiques connu sous le nom de lois de Berthollet ; une dissolution vitriolique d'argent rencontrant une dissolution de sel marin, il y aura décomposition et cristallisation de sel marin d'argent ou lune corné qui est peu soluble.

Tout ceci direz-vous ne peint que l'extérieur des phènomènes. C'est beaucoup de savoir dans quelles conditions se produit la cristallisation ; cela n'est pas suffisant, il nous faudrait atteindre, pour être pleinement satisfait, la molécule matérielle elle-même dans ses réactions avec les autres molécules... Sur ce dernier point Lamétherie est absolument muet ; il renonce à expliquer la fusion et la solidification, se contentant d'affirmer que ces transformations sont actuellement encore trop peu connues. Il y a discontinuité entre sa théorie de la cristallisation et ses opinions concernant la structure des cristaux !

Les sels cristallisés sont, comme les minéraux cristallisés, formés de larmes triangulaires, rhomboïdes ou rectangulaires, appliquées les unes contre les autres ; « le géomètre fait voir comment telles ou telles figures résultent de la position des différentes lames » quoique les formes des cristaux présentent des irrégularités notables que nous ne pouvons négliger. Toute cette théorie avait déjà était formulée par Bourguet, et nous retrouvons entre Lamétherie et Haüy l'opposition que nous avons signalée tout le long de cette histoire entre les théories lamellaires des cristaux et les théories qui les représentent par la superposition de petits polyèdes semblables à l'édifice total.

Le triomphe incontesté de cette dernière méthode a rejeté dans l'ombre toutes les autres théories ; l'œuvre ingénieuse et brillante de Lamétherie a disparu, ne laissant aucune trace dans la science, qu'elle enveloppait

tout entière sans l'atteindre profondément ! Aussi bien, cette œuvre était isolée et luttait contre le courant général qui poussait les esprits vers l'étude des discontinuités, des classifications et des spécialisations ; car au-dessous de la surface large, brillante et philosophique couvrant sous un mince vernis l'ensemble des connaissances humaines, de nombreux et modestes savants employèrent tous leurs efforts à mettre en pleine lumière un point spécial encore obscur, qu'ils étudièrent séparément ; nous allons voir que leur méthode finit par s'imposer à tous et qu'ils changèrent l'aspect même des problèmes scientifiques !

8. Les naturalistes furent les promoteurs de ce mouvement ; les minéralogistes imposèrent peu à peu à la science des cristaux leur méthode descriptive et classificaive, dédaigneuse de toute explication. Nous devons donc dégager de leurs importants travaux les manières de voir et de penser qui modifièrent profondément les questions que la curiosité humaine pose à toute la nature !

Romé de l'Isle (1) dépassa le point de vue particulier qui avait occasionné ses recherches, et au lieu de se cantonner dans l'étude du règne minéral naturel, dans l'observation systématique des minéraux cristallisés, il voulut établir une cristallographie méthodique dont le langage est applicable à toutes les cristallisations quelles que soient leurs origines. Pour obtenir ce résultat il ne laissa subsister que le squelette abstrait de sa science, qu'il rendit par cela même indépendante des autres sciences ; il la débarrassa, nous l'avons vu, de toutes les opinions bizarres, des systèmes fantaisistes et des hypothèses ingénieuses et romanesques émises par quelques prédécesseurs ; il la simplifia, mais il la rendit claire, nette, précise, utilisable et perfectible ; et les idées dont il la débarrassa l'encombraient plutôt qu'elles ne l'enrichissaient !

1. 1772-1783.

Il n'osa cependant pas éliminer l'analyse chimique, car les variations dans la composition indiquent des variations d'espèces cristallisables ! en conséquence il consacre quelques pages à l'acide universel, au « phlogistique », à quelques éléments importants et aux sels ; il n'a d'ailleurs à ce point de vue aucune idée nouvelle ou remarquable ; il adopte sans discussion les théories courantes ; sa chimie est indifférente à sa cristallographie, et s'il établit entre ces deux sciences un rapport qui les rend solidaires, il le fait à titre d'espérance, non d'hypothèse fondamentale.

Il ne cherche pas à établir une théorie de la cristallisation, impossible, à établir dans l'état actuel de la science ; nous sommes encore bien loin de rendre compte du mécanisme interne et caché de la formation des cristaux : « c'est un mystère de la nature,qui de même que la génération des animaux et la végétation des plantes, échappe à la curiosité de nos regards : nous voyons une plante naître, un animal croître et se développer sans que nous puissions voir comment la sève ou le chyle se métamorphosent en la substance propre de ces êtres organisés. Le mécanisme de la cristallisation quoique beaucoup plus simple ne nous est guère mieux connu. Trempez un fil dans une dissolution d'alun au moment où elle est assez rapprochée pour donner des cristaux, vous le retirerez chargé de petits octaèdres d'une régularité d'autant plus parfaite qu'ils seront plus imperceptibles à l'œil nu ; replongez votre fil dans la dissolution et retirez-le presque au même instant, vous reconnaîtrez que les octaèdres ont augmenté de volume, sans avoir sensiblement perdu de leur régularité. La raison en est simple : c'est que les molécules élémentaires ou chimiques et même les molécules primitives intégrantes ou physiques formées par l'association ou la combinaison de molécules chimiques qui sont les matériaux que la nature emploie à la construction de tous les corps, sont inaccessibles à nos sens, et que la plus petite parcelle de matièr eque nos yeux puissent apercevoir à

l'aide du microscope, loin de pouvoir être regardée comme un être simple est déjà très composée. Tenons-nous-en donc à ce que l'observation nous présente si nous ne voulons pas substituer les rêves de notre imagination au silence majestueux de la nature sur les premiers principes. »

Romé de l'Isle ne se contente pas de condamner les théories mécaniques de la cristallisation, son jugement sévère atteint aussi les théories de structure qui se basent sur des spéculations purement géométriques ; elles sont vouées à l'insuccès par cela seul qu'elles essayent de deviner une sorte de noyau cristallin dont les empilements hypothétiques reproduiraient les corps que nous observons; les constructions mentales sont d'après lui toujours stériles et par conséquent inutiles ! Quelle doit être l'attitude du savant vis-à-vis de la nature ? S'il lui est refusé d'être arbitrairement systématique et théoricien, il devra regarder les cristallisations et montrer sans aucune préoccupation philosophique qui dépassera son sujet, que toutes les formes d'un même corps dérivent d'un solide régulier tronqué le plus souvent par des facettes secondaires. Que l'expression troncature ne prête pas à confusion, elle a un sens géométrique et physique ; quelques railleurs ont supposé que le cristal tout formé devait avoir ses angles coupés par une action ultérieure que personne n'a jamais vue et ils ont trouvé cela absurde ; ils ont crié pompeusement : « il n'y a pas de troncature que la nature ne tronque point », mais ils ont montré simplement qu'ils ne savaient pas séparer la cristallogénie de la description des cristaux ; ils n'ont pas compris que le terme « troncature » ne prétendait aucunement expliquer la genèse des variations de formes, mais simplement en rendre compte ; la science cristallographique consiste uniquement à « spécifier en décrivant les formes, les rapports plus ou moins immédiats qu'elles ont entre elles » ! voilà tout !

La cristallographie, bien qu'elle s'éloigne autant que possible d'une « spéculation géométrique » tendra à de-

venir une science formelle et géométrique ! Romé de l'Isle fait volontairement abstraction de toutes les propriétés des corps pour ne considérer que leurs limites. Et même quand il étudiera des cristaux dont les faces sont planes, il ne notera que l'angle dièdre qu'elles font en se rencontrant ; il négligera leurs dimensions relatives pour ne tenir compte que de leurs intersections ; il a découvert que les angles dièdres d'une même espèce sont constants, alors que les surfaces et les longueurs des facettes sont variables et par conséquent peu intéressantes. Comment est-il arrivé à cette conclusion ?... Toujours est-il qu'il l'a amplement vérifiée par l'usage du « goniomètre » qu'avait inventé Carangeot. L'appareil, simple, rudimentaire et peu précis, ne permet qu'une mesure approximative des angles solides ; deux règles métalliques allongées sont réunies dans leur milieu par une vis et leurs bouts peuvent s'écarter les uns des autres, de telle sorte qu'elles forment entre elles des angles divers suivant leurs positions. En appliquant l'une des barres sur une facette du cristal et l'autre barre sur la facette voisine, on peut repérer l'angle que ces deux facettes font entre elles ; il ne restera plus qu'à poser l'appareil sur un arc de cercle déjà gradué pour lire exactement la valeur de cet angle.

C'est avec cet instrument de physique ingénieux, dont le maniement facile peut être appris très rapidement, que Romé de l'Isle accomplit son immense travail ; nous avons déjà dit que son labeur fit entrer la minéralogie dans une voie nouvelle ; c'est grâce à lui que la cristallographie devint une connaissance préliminaire à l'étude des minéraux ; il serait fastidieux d'énumérer le nombre de substances cristallines trouvées dans le sol dont il a déterminé les angles ; il est au moins curieux de remarquer que la cristallographie, science physique, est depuis son œuvre considérée comme faisant partie intégrale de la minéralogie, science naturelle, bien que la cristallographie soit parfois étudiée pour elle-même et indépendamment de toute autre préoccupation scientifique.

A ne voir que les grandes lignes de la théorie d'Haüy (1) sur la structure des cristaux, on est surtout frappé du petit nombre de faits matériels sur lesquels elle est basée. Romé de l'Isle faisait abstraction de la plupart des qualités immédiatement observables que présentent les différents corps, mais il ne construit pas de système ; Haüy semble en avoir un : en réalité il ne fait qu'élaborer peu à peu le langage cristallographique formel qu'emploieront nécessairement par la suite ceux qui étudieront les cristaux ; c'est dire que son œuvre élimine même la physique pour ne tenir compte que des relations mathématiques qu'ont entre eux aussi bien les cristaux les plus divers que les échantillons variés d'une même espèce. Sa théorie qui semble être uniquement une théorie de structure, n'est en somme qu'une illustration sensible du chapitre de géométrie qu'il a le premier exposé et dont nous parlerons plus loin.

Résumons brièvement son hypothèse réticulaire. Voici d'abord les observations qui l'ont fait naître et qui la justifient. La plupart des cristaux ont des plans de séparation mécanique facile et se brisent non d'une manière quelconque, mais suivant des plans toujours les mêmes dans une même espèce, quelles que soient d'ailleurs les modifications que présentent les formes des cristaux par rapport à ces plans. Ces clivages découpent de petits prismes semblables probablement aux noyaux encore plus petits qui, par leur accumulation suivant certaines lois, forment le solide entier !

Cette manière de voir fut vivement critiquée par Romé de l'Isle qui ne la distingua pas des innombrables constructions mécaniques contre lesquelles il luttait avec tant d'acharnement. Il traita Haüy de « cristalloclaste » ou « brise-cristaux » ; il déclara que les connaissances acquises ne pouvaient permettre à personne de deviner le mécanisme « interne et caché » de la cristallisation et que toute

1. 1781 à 1822, éditions successives et perfectionnées. Les citations sont extraites de la dernière édition.

systématisation était actuellement ambitieuse ou prématurée. Il mit le public en garde contre les tentatives trop hardies qui entraînent notre imagination en nous faisant perdre de vue l'objet de la science. On arrivera peut-être un jour, dit-il, à donner une bonne théorie de la cristallisation, « mais ce ne sera point en mutilant et dépeçant le petit nombre de cristaux qui se prêtent à cette division mécanique, pour aller chercher dans leur centre un prétendu noyau qu'on y suppose et qui, lors même qu'il y existerait, serait encore inexplicable par la géométrie seule ou des spéculations purement mathématiques ».

Cette critique n'atteint pas le système d'Haüy qui n'a aucun rapport avec les théories de la cristallisation et qui de plus n'essaye d'expliquer ni les circonstances de la naissance des cristaux, ni les conditions de leur accroissement ; l'auteur vise seulement à connaître leur état actuel. N'ayant aucun autre but, il réalisa en le dépassant l'idéal que l'école sensualiste proposait à la science dès le milieu du XVIII[e] siècle. Laissant de côté l'ensemble des propriétés physiques et chimiques des cristaux pour ne tenir compte que de leurs formes et que de leurs structures, Haüy construisit de toutes pièces, par une méthode différente, mais certainement équivalente à celle de la nature, des édifices cristallins analogues à ceux que nous étudions. ainsi que le voulait Dalembert, il a « par des opérations et des abstractions successives de son esprit, dépouillé la matière de presque toutes ses qualités sensibles pour n'envisager en quelque sorte que son fantôme » et il donne en conséquence une théorie formelle, dont les résultats cadrent bien avec nos découvertes expérimentales ! Ses moyens d'investigation sont des plus simples ; il n'a apporté durant sa longue carrière aucun perfectionnement au goniomètre d'application dont le maniement facile avait permis à Romé de l'Isle d'établir la loi de constance des angles dièdres (1) ; d'autre part, quand il veut décou-

1. Il connaît cependant le goniomètre à réflexion, mais ne le trouve guère commode.

per dans chaque espèce cristalline le polyèdre primitif, noyau de la cristallisation, il tient compte des clivages, des plans de séparation naturels que l'on découvre immédiatement, voilà tout !

La cristallographie se dégage complètement des complexités expérimentales ou théoriques que les sciences physiques et naturelles, dans lesquelles elle a pris naissance, avaient autrefois introduites ; elle se réduit à un chapitre de géométrie contenant l'énumération des formes cristallines possibles ; celles-ci rencontrées dans la nature se rangent tout naturellement à la place qui leur était assignée.

Haüy ne s'est jamais soucié d'établir le mécanisme de la cristallisation ; il a toujours prétendu que la science ne saurait en donner actuellement une explication rationnelle ; il se contente d'imaginer une théorie de la structure des cristaux, en s'inspirant de l'observation mais sans recourir à elle ; il les construit par des empilements de petits solides d'une géométrie très simple, s'assemblant suivant certaines lois de symétrie ; « le point essentiel, dit-il, est que la théorie et la cristallisation finissent par se rencontrer et se trouver d'accord l'une avec l'autre. » Ceci posé, Haüy pourra substituer au monde réel que nous connaissons, un monde uniquement intelligible ayant le même aboutissement sensible ; et les lois qui président à la constitution de ce monde idéal, se trouvent constamment vérifiées quand nous les appliquons à prévoir les figurations les plus variées des solides cristallisés.

Mais, direz-vous, cet état d'esprit n'est pas nouveau ; les philosophes cartésiens par exemple, qui cherchaient plutôt à comprendre les événements qu'à les prévoir, n'avaient point agi autrement ; et leurs théories aboutissaient, elles aussi, à déterminer les liens étroits qui rendent solidaires les phénomènes au premier regard indépendants les uns des autres ! La méthode de Haüy reproduirait-elle la méthode classique ? Malgré quelques ressemblances superficielles, ces deux écoles sont absolument opposées. Pour

comprendre l'originalité de la nouvelle venue, nous devons nous souvenir que dans la pensée cartésienne, la science était explicative et déductive ; elle devait avant tout satisfaire notre raison ; elle nous donnait, si l'on peut s'exprimer ainsi, une vision dynamique de l'univers. Chez Haüy au contraire, la science prend tout entière un aspect purement statique ; elle est à la fois classificatrice et descriptive ; elle se soucie peu d'établir ce qui a été, ou ce qui sera ; elle se propose uniquement la connaissance de ce qui est ; elle dédaigne les théories mécaniques qui racontent en quelque sorte l'histoire des cristallisations ; elle cherche et réussit à relier par des considérations uniquement géométriques les figurations rencontrées dans tous les cristaux quels qu'ils soient !

La cristallographie tend donc à se réduire à un langage descriptif d'une remarquable précision (1) ; elle laisse les théories hypothétiques de la cristallisation rechercher une liaison entre la formation et la forme ; ce problène ne l'intéresse pas et troublerait inutilement l'exposé de ses résultats ; elle néglige de même l'étude des rapports d'équilibre entre le milieu cristallin et le milieu cristallogène ; elle est géométrique, constructive et non physique.

Elle sait même éliminer la chimie et la relègue dans sa préface ; elle proclame en effet que chaque substance, simple ou complexe, élément ou combinaison, a sa spécificité propre et une cristallisation carastéristique qui lui est particulière ; la molécule cristallographique est composée d'une réunion de plusieurs molécules chimiques, que l'on ne peut séparer sans détruire la substance étudiée ; par suite, les édifices cristallins seront également spécifiques ; un même corps, le carbonate de chaux par exemple malgré les variétés qu'il présente sera toujours formé de molécules cristallographiques semblables ; nous découperons dans tous les cristaux des rhomboèdres de

1. Voir dans le *Journal des Mines* de 1810, une curieuse « théorie de la cristallisation » que son auteur Prechtl oppose à la cristallographie. La théorie de la cristallisation est explicative, la cristallographie descriptive.

clivage qui nous serviront de forme primitive. Une telle induction est-elle légitime ? Oui, proclame Haüy. « La division physique de ce minéral a nécessairement un terme, et si j'avais des organes assez délicats pour atteindre ce terme, j'arriverais à des corpuscules quelconques que je ne pourrais plus sous-diviser ultérieurement sans séparer les molécules de chaux et d'acide dont ils sont les assemblages. La supposition la plus naturelle que je puisse faire ici est que la route que j'ai prise est celle qui conduit à ce terme, c'est-à-dire que ce qui est au delà du point où je cesse de voir ressemble à ce que j'avais vu jusqu'alors. Or, dans cette hypothèse les corpuscules dont je viens de parler seraient des rhomboïdes d'une extrême ténuité et de la même figure que ceux d'un volume sensible que j'avais d'abord obtenus. Ainsi nous admettons dans les minéraux deux sortes de molécules; les unes que j'appelle *molécules intégrantes* et qui sont censées être les plus petits solides que l'on puisse extraire du minéral sans altérer sa nature ; et les autres que j'appelle *molécules principes*, *molécules élémentaires* et qui sont dans le cas présent, d'une part celles de la chaux, et de l'autre, celles de l'acide carbonique. »

Si nous admettons cette hypothèse, un cristal nous semblera dû au jeu de plusieurs architectures superposées. Avec des molécules chimiques d'aspect varié, la nature crée une *molécule intégrante* de figuration déterminée et dont la forme est invariable chez une même espèce chimique ! Mais cette molécule intégrante une fois construite, les matériaux dont elle est composée sont inséparables, tant, du moins, qu'ils constituent le cristal et qu'ils n'interviennent plus individuellement.

La molécule intégrante est donc l'élément primordial de l'édifice cristallin ; sa figuration seule est caractéristique d'une substance définie. Quant aux cristaux produits par la superposition de ces molécules, il nous faudra découvrir les lois constantes de leurs structures et de leur symétrie !

Arrivons maintenant à la partie véritablement géométrique de la cristallographie, et pour cela définissons avec précision les particularités remarquables de leurs figures. D'abord, nous notons que les facettes sont planes, ce sont des surfaces rhombes, carrées, triangles ou parallélogrammes ; ces facettes sont, suivant les cas, verticales ou obliques, les unes par rapports aux autres ; elles sont séparées par des arêtes et font entre elles des *angles saillants* ; ces arêtes concourrent au même point pour donner des *angles solides* ; d'autre part, les angles formés par deux arêtes limitrophes d'une même facette sont appelés des *angles plans* ; les arêtes de même aspect situées sur des facettes identiques sont appelées *bords identiques* ; cette dernière dénomination nous rappelle qu'il existe dans les cristaux des éléments de symétrie ou axes autour desquels la distribution de la matière est régulière ! Voici d'après Haüy la définition de ces axes :

« J'appelle axe, en général, une ligne droite menée par le centre d'un cristal, et dont telle est la direction que toutes les parties du cristal sont disposées symétriquement à son égard. Un des principaux caractères de cette symétrie dépend de ce que les lignes menées perpendiculairement sur l'axe en partant des angles solides égaux et situées sur les parties environnantes sont égales entre elles. Un même corps est souvent susceptible d'être traversé par plusieurs lignes dont chacune peut être prise pour axe ; mais il y a dans ce cas un axe principal, que je nomme *axe de cristallisation* et qui se distingue des autres en ce qu'il est dirigé verticalement, lorsque le cristal est dans sa position naturelle. Cette position est presque toujours indiquée par l'aspect de la forme considérée en elle-même ; mais les indices qui la font surtout connaître sont ceux qui se tirent du rapprochement des différentes formes cristallines originaires d'une même espèce, avec l'une d'entre elles, qui sert de mesure commune pour les comparer. »

En effet, nous constatons que la plupart des solides cris-

tallins tels que les prismes et les octaèdres, par exemple, ont entre eux des rapports géométriques précis qui permettraient dans certains cas de les déduire les uns des autres, et cela d'autant plus facilement que la surface limitrophe des cristaux présente parfois simultanément les facettes du prisme et de l'octaèdre ; « si l'on suppose ces dernières prolongées jusqu'à ce qu'elles se rencontrent, en masquant toutes les autres, on a un solide qui existe ou qui peut solitairement exister dans la même espèce. »

Ces dernières considérations sont intéressantes ; si elles ne permettent pas à elles seules d'établir une science rationnelle des cristaux, elles nous invitent à comparer attentivement les différents échantillons cristallisés de la même espèce et même à mesurer les angles que font entre elles les différentes facettes ; le résultat de notre première investigation nous amènera à formuler la loi de « *constance des angles dièdres* » qui se trouve toujours vérifiée quelles que soient d'ailleurs les dimensions relatives et variables des facettes cristallines qui pourraient altérer pour l'œil la symétrie indéniable de l'ensemble ! Ainsi nous pouvons découvrir l'ordre réel de la nature masqué sous un désordre apparent et rebelle aux généralisations ; nous essayerons de démêler un invariant dans la grande variété des figurations caractéristiques.

« L'idée que tend à faire naître l'observation des diverses formes cristallines sous lesquelles se présente une même substance minérale, est qu'il en existe une parmi elles qui peut être regardée comme le type auquel toutes les autres sont susceptibles d'être ramenées. En partant de cette idée on concevrait que le solide qui fait la fonction de type fut composé de particules semblables à lui-même ou dont la forme serait en rapport avec la sienne. Ce même solide serait inscrit dans chacun de ceux qui offriraient une configuration différente, et celle-ci dépendrait de certaines lois auxquelles auraient été soumises les particules de la matière enveloppante en s'arrangeant symétriquement autour du solide intérieur.

« Mais pour que cette manière de voir s'accordât avec la réalité, il faudrait que la théorie dont elle aurait fourni la base satisfît à deux conditions ; l'une que l'adoption de la forme considérée comme le type des autres n'eût rien d'arbitraire et fût indiquée par la nature elle-même ; l'autre, que l'existence de lois d'arrangement qui détermineraient son passage aux autres formes fût démontrée avec une précision rigoureuse. »

L'œuvre entière d'Haüy est une justification, ainsi d'ailleurs qu'une vérification de ces deux affirmations primordiales.

Ce sont des observations faciles, telles que celles des faces ou brisures de clivage, qui prouvent que la forme hypothétique des molécules intégrantes nous est dictée par la nature des choses elle-même ! Haüy a cherché la forme primitive d'une grande quantité d'espèces cristallines et presque toujours ses efforts ont obtenu le succès désiré.

Les molécules intégrantes varient de figuration suivant le corps considéré, mais si on néglige les angles respectifs de leurs facettes, elles ne présenteront que trois types fondamentaux différents : le tétraèdre, le prisme triangulaire, et le parallélipipède ; voilà les seuls noyaux réels des cristaux les plus variés !

Il nous est même possible de ramener ces trois sortes de molécules intégrantes à un même type, ce qui simplifie heureusement les données du second problème : la construction des édifices cristallins. En effet « les applications de la théorie aux formes cristallines dont les molécules intégrantes sont des primes triangulaires ou des tétraèdres, soit que leur forme primitive diffère ou non du parallélipipède, s'assimilent à celles où les formes qu'elle considère ont pour molécules des parallélipipèdes semblables au solide primitif, c'est-à-dire que, dans le premier cas, la théorie atteint son but en faisant faire aux parallélipipèdes des composés de prismes triangulaires ou tétraèdres les mêmes fonctions que celles qui dans le

second cas dérivent de la forme propre des parallélipipèdes indivisibles ou censés tels.

« Je donne, dit Haüy, le nom de *molécules soustractives* à ces petits parallélipipèdes qui sont comme les éléments dont la considération suffit à la théorie, pour les distinguer des molécules intégrantes qui souvent les composent par leur réunion; dans le cas où aucune observation n'indique la sous-division des parallélipipèdes, il est évident que la molécule soustractive est semblable à la molécule intégrante. »

Il suit de ce qui précède que la théorie ne prend en considération que les molécules parallélipipèdes et néglige les molécules tétraèdres, ou prismes triangulaires, qui peuvent en première approximation être supposées dessiner les sous-divisions de la molécule soustractive.

Ces molécules sont accolées les unes aux autres par leurs côtés sans laisser aucun vide dans l'intérieur du cristal ; la structure de ce dernier est constante dans tout son volume et n'est soumise à des lois spéciales de symétrie que vers ses limites; comment les déterminerons-nous, à travers toutes les diversités que nous présentent les formes cristallines? « Pour le concevoir, observons que les lames que nous détachons, lorsque nous divisons un cristal, en partant des points les plus éloignés du centre jusqu'à ce que nous arrivions au noyau, augmentent progressivement d'étendue à mesure qu'elles se rapprochent davantage de ce noyau ; on peut se faire une idée du mécanisme de la structure dans le passage du noyau aux formes secondaires, il ne s'agit que de prendre les lames dans l'ordre inverse, et il est bien évident que prises de cette manière, elles décroissent progressivement à mesure qu'elles s'écartent du noyau par la soustraction d'une certaine quantité de molécules destinées à les compléter dans le cas où elles auraient enveloppé le noyau qui n'aurait fait alors que s'accroître en restant semblable à lui-même. Et comme le décroissement se fait d'une manière uniforme et régulière, puisque son effet est de faire naître des faces

plànes ou qui nous paraissent telles, nous en concluons que les lames dont il s'agit et que j'appelle *lames de superposition* subissent leur décroissement de manière à conserver toujours leurs figures rectilignes. »

Mais, direz-vous, la Nature n'a pu employer une telle méthode, et les cristaux grandissent dans les solutions cristallogènes au lieu de subir des décroissements plus ou moins grands qui en arracheraient les morceaux ? Haüy a répondu d'avance à votre objection ; il « donne l'ordre de la structure et non celui de l'accroissement, » plus difficilement accessible à l'observation ; il ne s'agit pas de concilier ces deux ordres, mais encore une fois de déterminer l'état actuel d'un cristal indépendamment de l'histoire de ce cristal ; nous ne devons jamais oublier ce point de vue, et nous ne nous préoccuperons pas des phénomènes physiques de la cristallisation si nous voulons comprendre la nouvelle cristallographie.

Supposons donc un grand parallélipipède, semblable à chacune des petites molécules soustractives, et construit par l'accolement suivant leurs surfaces limitrophes d'un grand nombre de ces particules ! Cherchons maintenant quelles altérations la suppression systématique et régulière de certaines séries de molécules seraient susceptibles d'y introduire. Les soustractions ne se font pas au milieu des faces, et n'atteindront que les parties saillantes de notre parallélipipède de fondement : les arêtes et les angles solides. Nous appellerons *décroïssements sur les bords*, ceux dans lesquels la ligne centrale est parallèle aux bords ; *décroissements sur les angles*, ceux dans lesquels la position de la ligne centrale est inclinée en même temps aux côtés et à la diagonale ; les décroissements étant donnés, l'orientation de la nouvelle facette s'en suivra et pourra par conséquent être calculée d'avance ; mais ce résultat important n'est pas encore suffisant à lui seul pour permettre à la cristallographie de prendre un rang parmi les sciences exactes; il faudra, pour y parvenir, qu'Haüy pose *à priori* comme affirmation théorique

la loi de *symétrie* dont les effets se trouvent constamment vérifiés dans les cristaux, et qui amène à des généralisations particulièrement fécondes. La voici :

« Si parmi les bords identiques qui existent sur une forme primitive, un seul subit un décroissement d'une mesure donnée ou reste libre, tous les autres à son imitation subiront le même décroissement ou resteront libres. Il en est de même des angles: ce qui a lieu par rapport à un seul des angles solides égaux se répète sur tous les autres, car les bords identiques — et il faut en dire autant des angles solides égaux — pouvant être pris indifféremment l'un pour l'autre, il n'y a pas de raison pour que la variation, dans le cas où il y en aurait, ne tombât plutôt sur l'un que sur l'autre ; d'où il suit qu'ils ne seront pas non plus distingués entre eux dans les effets des décroissements. Si deux bords ou deux angles diffèrent entre eux, il pourra arriver qu'ils subissent deux lois différentes ou que l'un soit soumis à un décroissement tandis que l'autre restera libre. Il n'existe à cet égard de dépendance nécessaire qu'entre les bords ou les angles dont chacun est censé représenter tous les autres.

« Les conditions précédentes sont liées étroitement à une autre qui exige que les parties de la forme secondaire qui répondent à des faces égales et semblables sur la forme primitive soient égales et semblables entre elles. »

Il est impossible dans un ouvrage comme celui-ci de donner une vue d'ensemble des applications de la loi de symétrie ; il ne faudrait pourtant pas laisser ses effets absolument dans le vague ; examinons seulement les cas les plus facilement accessibles.

Imaginons, pour obtenir un polyèdre primitif très symétrique, que la particule soustractive soit un cube comme dans le cas du sel marin ou de la fluorine ; construisons, cela va de soi, un grand cube par l'accolement bord à bord d'un grand nombre de ces particules intégrantes. Supposons maintenant que nous retranchions la rangée de molécules soustractives sur l'une des arêtes ; par un effet

immédiat de la loi de symétrie nous serions amenés à trancher de la même manière les douze arêtes qui dans le solide régulier font fonction de bords identiques... nous obtenons douze nouvelles facettes inclinées sur les faces du cube ; ces facettes, nous pouvons continuer à les élargir, en enlevant parallèlement à la première rangée ôtée plusieurs séries de molécules ; elles arriveront à un moment donné à faire disparaître le cube lui-même, èt nous serons en possession d'un solide régulier ayant la même symétrie que le cube, dodécaèdre rhomboïdal.

Observons toutefois que les faces de ce nouveau solide, au lieu d'être planes comme celles du cube, devront être sillonnées de lignes parallèles à chaque rangée ôtée, puisque les molécules soustractives sont limitées par des cubes. Cette conséquence de la théorie est-elle réalisée chez les cristaux ? Haüy avoue qu'elle ne l'est pas ou tout au moins qu'elle ne l'est que rarement ! Si nous rencontrons, comme nous devons nous y attendre, quelques dodécaèdres cristallins dont les facettes sont rugueuses, d'autres au contraire semblent remarquablement polies et réfléchissent nettement la lumière ! Qu'en conclure ? Allons-nous pour si peu renoncer à notre théorie ? Non, évidemment ! Et pour cette raison bien simple que nous savons qu'il n'existe pas de surface absolument plane. Et pourtant Newton qui en a fait le premier l'observation l'a déclaré dans son optique. Bien que nous ne connaissions pas de plan parfait, il existe des miroirs excellents dont la surface réfléchissante ne diffère pas pour nos sens d'une surface absolument plane ! Ainsi les cannelures des dodécaèdres rhomboïdaux, si elles existent, nous sont insensibles parce qu'elles sont trop fines ; la molécule soustractive est également trop petite pour que nous puissions songer à l'isoler ; un même raisonnement est applicable à toutes les autres facettes par le retrait des molécules soustractives.

Nous venons de construire le dodécaèdre par un *décroissement sur les bords ;* voyons ce que nous obtiendrons par un *décroissement sur les angles ;* pour cela, reprenons le

grand cube qui nous sert comme tout à l'heure de forme primitive, et retranchons une molécule à l'un des *angles solides ;* par une application immédiate de la loi de symétrie, nous retrancherons une molécule à tous les autres angles solides ; nous aurons ainsi déterminé la naissance de huit facettes nouvelles que nous pouvons comme précédemment agrandir ; ces facettes empiètent peu à peu sur celles du cube, et elles finissent par les effacer ! Nous obtenons alors un octaèdre régulier de même symétrie que le cube... Bien entendu les facettes de cet octaèdre théoriquement ne sont pas planes ; mais comme dans le cas précédent, elles nous paraîtront pourtant telles et elles réfléchissent nettement la lumière ! Là encore les discontinuités certaines de la matière sont inaccessibles à l'observation, ce qui ne porte pas atteinte à notre hypothèse primordiale !

Les deux cas que nous venons d'étudier sont les plus simples de tous ; nous pouvons imaginer, et la nature réalise souvent des décroissements moins symétriques, qui se répètent sur toutes les arêtes et tous les angles solides pour rétablir la symétrie du cube primitif ; nous obtiendrons ainsi des solides à 24 ou 48 facettes. On en trouvera la description dans les traités de cristallographie.

Comme le cube, quoique à un degré moindre, le rhomboèdre, le prisme quadratique et les parallèlipipèdes obliquangles présentent des éléments de symétrie ; Haüy étudie les différents corps cristallins présentant ces formes primitives ; nous ne pouvons songer à le suivre dans cette voie...

Remarquons que les nouvelles formes obtenues par les décroissements de molécules soustractives ne sont pas quelconques par rapport à la forme primitive ! Nous retranchons toujours, en effet, un nombre entier de ces molécules, ce qui limite forcément la fantaisie que nous rencontrerons dans les figurations cristallines ; ces figurations, quelles que soient leurs variétés, seront d'avance calculables par le géomètre connaissant la forme primitive ;

mais ces calculs sont longs et pénibles ; leur accord avec les résultats de notre observation aboutit à l'énoncé de la loi *troncatures rationnelles* qui dit précisément que les décroissements des cristaux s'expriment par des nombres entiers le plus souvent très simples ! Dans un ouvrage comme celui-ci nous ne devons pas les aborder, car ils sont trop particuliers à la cristallographie ; et cela nous rappelle qu'après Haüy la science de cristaux n'est plus accessible aux amateurs : l'usage de la géométrie et du calcul la rend de plus en plus difficile ; et seuls ceux qui ont reçu une préparation pour ainsi dire professionnelle pourront songer à la connaître.

CONCLUSION

1. — L'Œuvre d'Haüy par sa réussite brillante a rejeté dans l'ombre les travaux de ses devanciers. — Les historiens qui font commencer l'histoire d'un concept à l'époque de son élaboration définitive négligent l'effort des précurseurs moins heureux. — Peut-il y avoir intérêt à reconstituer les théories de nos ancêtres qui sont dépassées aujourd'hui ?
2. — Les premiers cristallographes. — Universalité de leur curiosité, de leurs questions, de leurs théories. — Indépendance intellectuelle de chaque savant. — Epanouissement d'hypothèses et de théories logiques et vraisemblables. — Pourquoi chacune d'elles exerce-t-elle si peu d'influence. — Absence de hiérarchie scientifique. — Le système du monde atteint par chaque étude particulière.
3. — L'absence de méthodes propres à la cristallographie livre le domaine de cette science aux doctrines philosophiques régnantes. — Nous pourrons les dégager des ouvrages que nous avons étudiés.
4. — Philosophie mécanique. — La cristallographie et la méthode cartésienne. — Observations superficielles. — Absence de technique expérimentale. — Raideur et puissance des théories. — Leur force déductive. — Leur faiblesse d'adaptation. — Leur vigueur. — Leur stérilité en tant que source de progrès.
5. — Philosophie corpusculaire. — Causes externes des modifications de la théorie. — La découverte du « microscopique » et les théories corpusculaires. — La loi d'attraction universelle. — Son application dans l'infiniment petit. — Les lois du hasasd. — Résultats. — Négligence des détails. — Vues d'ensemble opposée à la mécanique minutieuse. — Dédain des observations se rapportant à un seul cas. — Goût pour les généralisations immédiatement applicables.
6. — Philosophie expérimentale. — Rôle de la diffusion des sciences encouragée par la philosophie elle-même, sur l'évolution de la philosophie et de la science. — Les expérimentateurs et observateurs rassemblent leurs travaux en faisceaux avant de discuter sur la cristallisation. — La perception opposée au concept. — La science sensualiste préfère la classification à la théorie. — Essais de classifications arbitraires. — Ordre alphabétique. — Essais de classifications rationnelles. — La cristallographie géométrique d'Haüy. — La théorie n'a d'autre objet que de relier nos observations par des lois fixes.
7. — La cristallographie et l'histoire de la société. — Ce sujet est trop vaste pour être abordé dans une étude spéciale. — Traits caractéristiques des savants au XVIII[e] siècle. — Ce sont des amateurs qui n'ont pas de carrière à remplir. — Disparition au moment des succès d'Haüy, d'une classe d'oisifs qui cultivaient la minéralogie pour occuper leurs loisirs.

8. — L'histoire de la cristallographie dans ses rapports avec les progrès de nos connaissances. — Il n'y a de véritablement scientifique que les progrès définitivement acquis. — Existe-t-il un procédé pour atteindre à coup sûr les lois de la nature ? — Succès des méthodes positives à la fin du XVIIIe siècle. — Peut-on les généraliser et refuser toute valeur aux autres manières de travailler ? — Raisons opposées à cette conclusion. — Les anciennes méthodes donnent des résultats qualitativement vrais. — Discussion d'un cas particulier. — Pourquoi la science qualitative tend-elle au XVIIIe siècle à s'éloigner indéfiniment de l'expérience. — Elle ne peut servir de guide immédiat à nos recherches. — Elle est supplantée par la science quantitative. — Cette dernière complète la première et ne s'y oppose pas. — Elles ont toutes deux leur valeur. — Si l'histoire des sciences ne peut nous fournir une méthode de travail sûre, si elle n'exclut *à priori* aucun effort, peut-elle nous indiquer les problèmes scientifiques intéressants à résoudre ? — Discussion. — L'expérience historique fait éviter certaines erreurs. — La connaissance historique nous ramène quelquefois à l'énoncé simple d'un problème que les complications nous avaient fait perdre de vue. — Exemple.

9. — Conclusions.

1. Les cristallographes modernes considèrent à juste titre Haüy comme le fondateur de leur science ; ils ignorent qu'avant lui les notions de cristallisation et de formes cristallines avaient donné lieu à de nombreux travaux qui d'ailleurs n'aboutirent à aucun résultat systématique et durable ! Après lui, ils le savent, un langage géométrique, une classification méthodique des cristaux s'imposent à tous ceux qui veulent avoir des notions élémentaires de cristallographie. Son œuvre légèrement modifiée, perfectionnée par des retouches successives, sert encore de guide au débutant que l'on initie au langage même de la science. Elle est indispensable à connaître et l'étude des symétrie est une préface nécessaire à toutes les recherches futures ; on ne discute plus la plupart de ses conclusions ; elles font partie, comme les lois de la chimie découvertes vers la même époque, des acquisitions définitives de l'Esprit Humain !

Haüy a inauguré la « Route Royale » qui aboutit à une hauteur d'où la vue peut dominer l'ensemble des cristallisations ; le terrain sur lequel il a tracé sa voie, et dont nous apercevons maintenant tous les accidents, était déjà

défriché par une multitude de chercheurs qui, pour la plupart, finirent par se perdre dans des taillis inextricables après avoir contribué aux progrès de la Science. Nous avons essayé de montrer que leur labeur, aujourd'hui oublié, ne fut pas vain.

Nous devons maintenant comprendre pourquoi l'histoire des sciences, telle que la font les spécialistes, néglige l'effort des précurseurs qui ne proposèrent à la cristallographie naissante que des hypothèses invérifiables, des théories erronées ou incomplètes, des classifications arbitraires, des modèles de structure par trop vagues. Telle est du moins l'impression que laisse la lecture d'un ouvrage du XVIII[e] siècle choisi absolument au hasard !

Or, pour des raisons que nous n'avons pas à examiner, les savants ne commencent l histoire d'un concept qu'à l'époque de son élaboration définitive ; sa lente formation, les sourds et laborieux efforts qui le précèdent et qui occasionnent sa naissance sont difficilement accessibles et ils sont rarement atteints ! Le plus souvent, l'on se contente de rechercher dans les ouvrages de nos ancêtres, un passage qui pourrait être une application d'un principe découvert récemment. L'on ne vise pas à se représenter l'état d'esprit d'une époque ; et l'on se s'aperçoit pas que l'énoncé même d'un problème exige un travail préliminaire plus grand que sa résolution, si difficile qu'elle soit.

Mais, dira-t on, que nous importent les ébauches successives d'un tableau qui maintenant est terminé et dont tout le monde reconnaît la valeur ? Pourquoi s'obstiner à lui comparer les esquisses plus ou moins grossières dont il a désormais pris la place ? La science des cristaux doit progresser et ce n'est pas en regardant derrière soi que l'on accumulera les travaux et les découvertes.

N'aurions-nous obéi qu'à un vain goût d'érudition dont l'intérêt ne dépasse pas la satisfaction de notre légitime curiosité, en tentant de représenter l'histoire d'une science qui se forme avant qu'elle n'ait une méthode et une dis-

cipline caractéristiques ? Ou au contraire se dégage-t-il de cette étude quelques conclusions qu'il peut être utile de mette en lumière ? — c'est ce que nous allons rechercher.

2. Ce qui frappe le plus dans la plupart des écrits qui se sont succédés avant Haüy, c'est l'indépendance absolue que les savants professent les uns à l'égard des autres; il n'y a ni théorie de la cristallisation, ni modèle de structure des cristaux qui impose son autorité sans examen préliminaire à un groupe de chercheurs ; tous, même s'ils aboutissent à des conclusions déjà connues, remettent en question et discutent l'hypothèse qu'ils présentent au public ; personne ne se réclame d'un maître ! Aucune doctrine inattaquée, aucun résultat expérimental, ne contient les fantaisies individuelles dans des limites actuellement infranchissables.

S'il en est ainsi d'un chapitre de la science, il en est de même de toutes ses parties. Au gré de leur imagination, naturalistes et physicien modèlent le vivant sur le brut, le cristallisé sur l'organique — ou encore ils appliquent les mêmes lois aux particules infiniment petites qui se réunissent pour cristalliser au sein d'une solution — et aux astres infiniment grands qui gravitent les uns autour des autres, croyant mettre en évidence la sublime simplicité de la nature ! Chaque auteur semble créer son système, et n'essaie pas timidement, comme on le fera plus tard, de retoucher un monument vénérable et respecté dont quelques parties se sont délabrées par l'effet du temps ; il n'y a tout au moins pour la science des cristaux aucune discipline traditionnelle.

Le savant va donc librement exposer l'ensemble de ses conceptions ; aucune entrave ne gêne le développement des nouvelles doctrines qui ne s'opposent à aucune autre et ne frottent à aucun obstacle. C'est l'épanouissement des théories hâtives, des généralisations téméraires, sitôt abandonnées que formulées, les plus géniales restant à l'état d'hypothèses dont on dédaigne la vérification, car si toutes

les opinions motivées peuvent se produire et semblent légitimes, aucune ne sera assez puissante pour s'imposer. Il leur suffira de paraître vraisemblables pour être discutées. Et le grand nombre de vues systématiques entre lesquelles chacun pourra choisir, empêchera pour un temps chaque système de prendre corps de se perfectionner, de s'adapter peu à peu aux faits variés qu'il s'agit de représenter.

D'autre part, au début du XVIII[e] siècle, il n'y a pas de hiérarchie scientifique. Tous les points de départ sont équivalents pour le savant. La formation de la glace, le dépôt des solutions sursaturées, l'accroissement des pierres se traitent comme s'ils n'étaient dominés par une série de principes supérieurs dont ils ne sont qu'une résultante nuancée ; il n'y a pas de souplesse de pensée. Si parfois une loi est invoquée, comme par exemple la gravitation universelle, cette loi est appliquée immédiatement au sujet particulier comme elle le serait à tous les phénomènes de l'univers ; elle est à la base du système du monde, qu'une étude quelconque de faits pris au hasard mettrait en évidence.

3. La science des cristaux, qu'aucune discipline systématique ne guide encore, n'en sera que plus propre à se laisser séduire par la philosophie ! En l'absence de traditions, en l'absence de résultats définitifs qui la mettraient au moins partiellement à l'abri des fluctuations de la pensée, la cristallographie reflète et garde l'empreinte des spéculations successives qui s'imposèrent aux savants pendant tout le XVIII[e] siècle. Si chacun d'eux semble en quelque sorte absolument indépendant de la science qu'il traite, il ne saurait pourtant s'isoler de son temps, et il subit l'influence des grands courants d'hypothèses ou de méthodes qui se succédèrent alors. Il subit cette influence dominatrice d'autant plus docilement que rien dans son esprit ou dans ses connaissances n'est disposé à lui faire contre-poids.

L'histoire de la science des cristaux, mieux que celle d'aucune autre science, met en valeur la puissance des systèmes philosophiques ; elle semble à cette époque n'être que leur prolongement. Tout du moins nous avons pu montrer en étudiant chaque œuvre la lutte des théories méeaniques et des théories cinétiques, la lutte du raisonnement et de la description, la lutte des hypothèses et des classifications. Reprenons la question dans son ensemble, et nous dégagerons chacune des philosophies qui ont présidé à leur tour à l'évolution de la cristallographie.

4. Tout d'abord, dès la dernière moitié du XVII[e] siècle, la cristallographie naissante emprunta la méthode cartésienne ; le savant observe la nature et au besoin la regarde de près ; il ne pousse pas toutefois ses recherches au delà des constatations faciles, rapides et superficielles, que tous font en ouvrant les yeux (1) ; il dédaigne les instruments de mesure et la technique expérimentale ; il ne vise d'ailleurs ni à une connaissance approfondie des formes cristallines, ni à la découverte de nouvelles espèces. Son but est ailleurs. Il se propose avant tout de relier les faits connus par quelques raisonnements simples qui les rendent solidaires les uns des autres et solidaires du monde entier ; aucun produit isolé n'est étudié pour lui-même ; les conclusions tirées d'un échantillon particulier s'élargissent indéfiniment, au point que le corps qui en a fourni l'occasion semble simplement servir d'illustration à une doctrine très générale. Si Sténon s'arrête un instant à décrire le cristal de roche, la pyrite ou le diamant, c'est pour faire mieux ressortir que ces minéraux sont dus a une transformation du milieu environnant dont toutes les phases sont inscrites dans la pierre arrachée au sol. — Si Tournefort nous montre qu'un minéral est susceptible de croître, c'est pour établir défi-

1. Rapprocher de cette méthode scientifique l'idéal que l'on se faisait à la même époque de l'honnête homme qui ne « se pique de rien ».

nitivement qu'il est analogue aux végétaux, qu'il se nourrit, qu'il grandit, qu'il se reproduit comme eux. —Si Borrichius remarque que l'eau suintant à travers les parois des grottes donne naissance aux stalactites, c'est pour conclure immédiatement que toutes les pierres sont uniquement formées d'eau que des circonstances spéciales empêchent de reprendre la forme liquide. —Si Dortous de Mairan croit que la congélation de l'eau est due au retrait d'une matière subtile impondérable, il attribuera à cette matière subtile un rôle immense, et fera de son existence la base d'un système du monde, etc...

Quels sont les caractères communs de ces théories au premier abord disparates ?. Elles ont toutes comme point de départ quelques faits d'observation courante ; elles interprètent ces faits et les. généralisent d'une manière souvent arbitraire ; le doute méthodique de Descartes en écartant l'autorité d'explications traditionnelles admises le plus souvent sans discussion, laisse aux nouvelles doctrines la liberté de tirer toutes leurs conséquences ; une seule condition logique leur sera imposée ; il n'y sera toléré ni hésitation ni contradiction ; leur principe une fois admis, elles se déroulent fatalement — elles seront donc caractérisées par une très grande raideur. D'autre part, dès leur apparition, elles seront définitives, et toutes leurs parties se déduiront rigoureusement les uns des autres. La science ne prend de l'expérience qu'un minimum ou qu'une indication ; sur ce léger fondement, la raison construit un superbe monument dont tout est solide sauf les bases ; par là aucune théorie ne parvient à s'imposer ; les problèmes sitôt résolus sont remis en discussion. Chaque nouvel arrivant fait table rase du passé avant de proposer ses conclusions !

L'œuvre du savant cartésien ne fait appel qu'au sens commun et à la logique déductive ; elle est accessible sans exiger d'éducation préalable à tous ceux qui sont capables d'un effort soutenu de la pensée — voilà sa force — mais les observations dont elle part, l'interprétation

qu'elle en donne et dont elle tire les conclusions les plus lointaines sont ou vagues ou arbitraires — voilà sa faiblesse.

C'est que pour le philosophe, le cristal arraché au sol est peu intéressant à étudier seul ; il ne vaut que parce qu'il est le symbole de certaines lois naturelles dont il nous livre le secret. Dans ses audacieuses synthèses, la jeune cristallographie considère la description comme un moyen, non comme une fin. Elle est avant tout explicative ; elle bannit comme irrationnel, le merveilleux, l'imprévu, les actions à distance, etc. ; elle n'admet comme causes et effets que les phénomènes mécaniques ; elle s'astreindra à suivre dans ses plus infimes détails, dont aucun n'est négligeables, l'histoire théorique de la naissance des cristaux, de leur formation, de leur figuration ; elle ne laissera au hasard aucune place ; elle dévoilera les causes des irrégularités accidentelles produites exceptionnellement ; elle ne saura pas ignorer. La logique s'épuisera à donner les raisons d'être des moindres particularités remarquées chez les minéraux.

Que vaut la théorie ainsi construite ? Si le point de départ est fantaisiste ou erroné, elle reste fantaisiste ou erronée, les développements ne faisant que mettre en lumière l'erreur ou la fantaisie initiale.

Si le point de départ est exact, la théorie et l'observation se confirment l'une par l'autre en se servant mutuellement d'illustration. La pensée semble deviner la nature, tant ses prévisions concordent avec l'expérience ; elle domine de loin les recherches dont les résultats sont prévus et sont englobés tout entiers dans ses généralisations fondamentales. C'est ainsi par exemple que Sténon explique l'origine des cristaux de quartz ; il a pressenti quelques-unes des lois découvertes par la physique moderne ; il les applique sans toutefois les énoncer ; il lance dans toutes les directions quelques vigoureux coups de sonde dont il ne peut profiter faute d'instruments suffisants. Que peut-il faire, en effet, vu l'absence d'une chimie connaissant

réellement les propriétés et les réactions des différentes matières, des remarquables et indiscutables notions d'équilibre dont il développe les conséquences Evidemment, en dehors du connu, la science ne peut rien prévoir. Elle ne recherche d'ailleurs ni les découvertes sensationnelles ni les applications pratiques ; si elle témoigne la vigueur encore insoupçonnée de l'esprit humain, elle ne se propose pas d'augmenter la puissance matérielle que l'homme a sur la nature. Même atteignant le réel, elle reste confinée dans la pensée. Voilà pourquoi chaque savant exerce si peu d'influence. Si son système est logique et conforme à nos connaissances, rien ne prouvera qu'il est vrai ; rien ne pourra le faire sortir de la liste des possibilités éternellement discutables.

Si la philosophie cartésienne crée les sciences de la nature, elle est impuissante à les organiser ; elle leur donne une impulsion vigoureuse, mais néglige par sa méthode même les instruments de travail ; ces instruments, la cristallographie les prendra dans les nouvelles découvertes et les nouvelles hypothèses qui se font jour au début du XVIII[e] siècle et qui contribuent à modifier la marche de l'esprit humain.

5. L'usage du microscope, en ouvrant à l'investigation des savants un vaste domaine encore inexploré, leur donna l'ambition et l'espoir de découvrir le secret de la constitution de la matière (1). Allait-on enfin vérifier les théories corpusculaires émises dès l'antiquité, et mettre en évidence les insécables atomes, terme ultime de la division mécanique de tous les corps ? Quelques-uns sans doute le pensèrent ! Leewenhoec, par exemple, crut atteindre la molécule même ; il remarque la figuration constante des plus petites particules de chaque substance, et voit dans

1. On trouvera des détails et des vues très intéressantes à ce sujet dans la préface que Jean Sennebier a donné, à l'Édition française des *Opuscules de physique* de Spallanzani (1777).

cette forme fixe la seule cause des propriétés spécifiques de chaque cristal.

Physiciens et naturalistes font de cette hypothèse une des bases de la philosophie. Ceux mêmes qui ne s'adonnent pas aux recherches microscopiques, l'admettent désormais sans discussion ; la forme cristalline des particules est déduite de la forme de chaque cristal. C'est afin de pouvoir la déterminer avec précision que Bourguet, Rouelle et bien d'autres étudient avec tant d'attention les divers échantillons de minéraux ou de sels chimiques ; ils voudront prouver que les édifices cristallins les plus variés sont formés par la superposition de lamelles, ou de solides géométriques très simples, s'empilant les uns sur les autres régulièrement ; mais cela ne suffit pas. La connaissance du cristallisé n'a pas pour eux grand intérêt ; il faut cependant l'acquérir, car elle peut jeter un jour sur les théories de la cristallisation.

Voici la première conséquence des hypothèses corpusculaires. Les cristaux les plus divers ne diffèrent les uns des autres que par les figures variées de leurs molécules constituantes. Ces molécules, à quelque corps qu'elles appartiennent, étaient précédemment disséminées dans un milieu fluide dont peu importe la nature ; elles se rapprochent peu à peu et s'assemblent suivant les mêmes lois ; mais dans quelles circonstances se séparent-elles de la masse liquide, qui lui servait de support ? De quelle manière se réunissent-elles pour former les cristaux ? Voilà deux questions qui se posent immédiatement et que la théorie corpusculaire à elle seule ne résoud pas. Les savants ne les laissent toutefois pas sans réponse.

Or, depuis les admirables découvertes de Newton, la loi de gravitation universelle domine l'ensemble de la science ; elle sert de guide au philosophe aussi bien dans l'infiniment grand astronomique, que dans l'infiniment petit moléculaire ; c'est elle, au dire du cristallographe, qui dirige le mouvement des atomes nageant au sein d'un dissolvant ; c'est donc elle qu'il faudra invoquer pour expli-

quer l'accolement de particules semblables formant peu à peu un cristal En effet, l'équilibre d'une solution est rompu par le retrait d'une partie d'un des principes constituant. Si le liquide s'évapore, elle se concentrera peu à peu ; les molécules dissoutes conservant leur individualité se rapprocheront les unes des autres, et s'attirant mutuellement finiront par se rencontrer. Tels sont en gros les phénomènes qui se succèdent lors du dépôt d'un solide cristallin. Nous sommes loin, on le voit, des théories mécanistes cartésiennes qui prétendaient suivre pas à pas, sans omettre un détail, les phases successives de la genèse d'un corps. Les détails de la forme cristalline ne sont pas, au contraire, déterminés avec précision ; si la figure des molécules peut être exactement connue, si la loi d'attraction qui agit sur elles est définitivement connue, un point pourtant *à priori* reste ignoré : c'est l'emplacement primitif des molécules actuellement cristallisées. Il en résulte qu'un cristal donné, quoique à peu près géométrique, et quoique à peu près semblable aux autres échantillons de la même espèce chimique, n'aura pas une figuration absolument spécifique ; « il conservera quelques traces de l'irrégularité de son origine » (1). Le hasard, jusqu'alors banni de la science, et qui précisément à la même époque fait l'objet de nombreuses recherches, n'est pas exclu des théories cinétiques de la matière.

Quelles sont les modifications que ces conceptions vont apporter aux doctrines scientifiques régnantes? La méthode cartésienne jusqu'alors maîtresse de la science n'expliquait le présent que par le passé immédiat, les phénomènes successifs se déduisant mécaniquement les uns des autres à l'infini. La nouvelle école renonce à serrer les faits d'aussi près; elle se contente de les saisir dans leur ensemble et ne s'obstine plus à rendre raison des moindres particularités remarquées chez les cristaux. Par suite la pensée ne se perd plus dans un dédale de

1. Bourguet.

détails d'où il lui est impossible de sortir. Si Descartes, Sténon ou Mairan partent d'un fait particulier pour créer un système du monde dont ils déduisent ensuite l'observation initiale, Bourguet, Guyton de Morveau et la plupart des physiciens au contraire dégagent malgré les causes accidentelles qui pourraient la masquer, la loi d'attraction universelle qui, dans sa simplicité grandiose, explique à elle seule la suite de tous les événements naturels!

Cette loi on l'applique telle quelle à la réunion des particules qui se rassemblent pour cristalliser; c'est elle qui donne corps aux hypothèses corpusculaires jusqu'alors vagues ou obscures. Mais une fois en possession de la théorie générale de la cristallisation, l'esprit se trouve satisfait; il n'a donc pas la patience d'analyser toutes les variables qui jouent un rôle véritable quoique restreint dans la formation de chaque cristal. L'observation méthodique, méticuleuse, rebute le savant qui pendant longtemps encore aime mieux connaître les raisons des choses que les choses elles-mêmes...

Nous retrouverons cette manière de voir dans les œuvres de tout le XVIII[e] siècle; c'est elle qui en dernier lieu inspira les travaux de Lamétherie. C'est elle qui conduisit aux études d'équilibre chimique, à l'énoncé des lois de Berthollet, aux conceptions prématurées de phases que pour des raisons variées la science abandonna provisoirement! Son influence, d'abord grande, diminua peu à peu; c'est que vers la même époque le monde savant demande des recherches plus précises et plus minutieuses. Si admirables que soient les systèmes généraux, donnant d'un seul coup la clef de tous les phénomènes connus, l'on ne peut passer sa vie à les contempler. Puis ces systèmes n'expliquent pas les diversités infinies que nous rencontrons dans les produits du règne minéral; ils sont supplantés sans être supprimés par des essais de classification méthodique; malgré le respect que l'on professe pour eux, ils disparaissent lentement de la cristallographie. Mécanique avec les cartésiens, théorique et générale avec les

newtoniens, la science des cristaux devint peu à peu descriptive.

6. La philosophie qui sapait l'érudition, l'autorité et la tradition, pour n'admettre en suprême ressort que le jugement de la raison, portait dans ses bases mêmes le germe d'une immense expansion ; sa diffusion même créa des points de vue nouveaux qui la modifièrent considérablement. C'est elle, nous l'avons vu, qui avait encouragé les savants à construire une théorie de la cristallisation d'après la connaissance de quelques cristaux isolés. C'est elle qui, faisant abstraction de tous les phénomènes perturbateurs troublant la genèse des « pierres angulaires », rattachait la formation des corps cristallisés aux lois générales qui régissent l'univers ! C'est elle, nous allons le montrer, qui, faisant abstraction des systèmes du monde et des hypothèses arbitraires représentant la naissance et l'accroissement des minéraux et cristaux salins, provoqua l'éclosion des essais de classification aboutissant à la cristallographie géométrique d'Haüy.

Quelles sont les causes de cette évolution qui à un examen superficiel semble être une révolution ? Comment passa-t-on des théories mécaniques aux descriptions exactes et systématiques ?

Dès le début du XVIII[e] siècle, quelques travailleurs dédaignant ou ignorant la griserie de la pensée pure, cherchent uniquement à bien connaître les aspects variés d'un cristal soit minéral, soit métallique, soit salin ; ou encore, ils se préoccupent de classer les cristaux uniquement d'après leurs qualités sensibles ; mais pendant longtemps cet effort resta spécialisé et isolé de la philosophie ; de même pendant de longues années les travaux de laboratoire restèrent isolés les uns des autres et ne s'influencèrent pas mutuellement.

Cependant le moment vint où l'hypothèse et la réalité se confrontèrent ; la théorie demanda l'approbation de l'expérience avant de faire de l'expérience son seul guide et son point d'appui ; l'on finit par se lasser des systèmes

cohérents et précis qui expliquent trop bien la nature et ne laissent aux nouveaux venus le soin de découvrir une loi ou une application inédite d'un grand principe.

L'on vit qu'avant de raisonner il était bon de regarder; c'est ce que font à la fois chimistes et minéralogistes; par sa propagation même, par sa diffusion, la science devint sensualiste; à mesure qu'elle gagne des adeptes, elle s'aperçoit que le monde est d'une complexité effarante ; ce n'est plus une synthèse rapide et ingénieuse qui peut désormais satisfaire le savant ou le philosophe; il demande plutôt une analyse exacte des faits, une connaissance approfondie des propriétés des cristaux et refuse de se payer de mots; au lieu de partir d'un concept, la théorie cristallographique raisonnera sur des perceptions; c'est ce qui nous explique la grande vogue des sciences naturelles; chacun peut en observant ou simplement en regardant ajouter de nouveaux trésors à la science cristallographique comme d'ailleurs à toute la science !

Tant que par le seul effort de sa raison l'amateur croyait trouver la copie ou l'image de la nature ; tant que la science, œuvre d'un homme, s'imposait aux autres hommes par la puissance de sa logique, la cristallographie resta spéculative et se réduisit à une théorie de la cristallisation ; dès que la nouvelle méthode, en modifiant ce plan d'études, exigea la collaboration de toutes les bonnes volontés qui cherchent à connaître le monde, la science devint à la fois expérimentale et descriptive. Et d'abord étant œuvre collective et non plus œuvre individuelle, elle se divise en différents chapitres qui peuvent s'étudier séparément. Le même travailleur ne sera plus obligé de répondre d'une manière satisfaisante à toutes les questions que l'étude des cristaux pourrait soulever ; il se contentera par exemple d'observer le spath ou le feldspath, le gypse de Montmartre ou les cristallisations métalliques ; il pourra aussi n'attacher de l'importance qu'à une série de qualités sensibles sans tenir compte des autres propriétés du même corps : à la structure des tissus, à la

dureté, à l'aspect général, ou à la mesure des angles dièdres.

Sans renoncer au raisonnement, le savant se préoccupera plutôt de découvrir les analogies et les différences que l'examen des cristaux met en évidence, que de rechercher les lois inconnues et inconnaissables qui dirigent la formation des cristallisations les plus variées. Tout en restant abstraite, la cristallographie, comme d'ailleurs toutes les sciences de la même époque, passera de la spéculation mécanique à la classification théorique ; elle voulait autrefois avec Sténon atteindre par un effort de pensée la construction même du cristal ; elle se propose maintenant de ranger les richesses naturelles sur des casiers appropriés ; mais dans quel ordre placerons-nous les échantillons arrachés au sol ou formés dans les laboratoires ? La mode des collections et des cabinets d'histoire naturelle vint demander une solution immédiate de ce difficile problème. L'accumulation d'observations, de faits variés, d'expériences rapides et décousues, en enrichissant la science, avait troublé son ordonnance, et il semblait nécessaire de la présenter dans son ensemble.

Les premiers essais de classification furent absolument artificiels et arbitraires ; vers le milieu du siècle, les « dictionnaires » de chimie ou d'histoire naturelle se multiplient. L'ordre alphabétique et conventionnel imposé à la nature, s'il permet de placer chaque renseignement à une page du livre où chacun saura le retrouver, ne satisfait cependant pas notre raison ; on lui substitue peu à peu un ordre plus rationnel et mieux adapté au sujet traité. Cet ordre, tout du moins en cristallographie, s'établit après quelques tâtonnements infructueux. C'est un cadre formel et plus spécialement géométrique qui contiendra désormais tous les cristaux naturels ; ce cadre, comme la mécanique d'autrefois, semblera indépendant des objets qui l'ont fait naître ; mais à la différence de cette mécanique, il ne dépassera plus les objets qui viendront se ranger à la place qui leur aura été assignée.

Certes, la transformation de la science, et tout spécialement de la science des cristaux, ne s'est pas faite en un jour et d'un mouvement uniforme ; des fantaisies individuelles ont pu pour un temps modifier le cours de son évolution naturelle ; certes, nous pourrions signaler à la fin du XVIIIe siècle des descripteurs s'attardant à l'étude d'objets isolés et dédaignant les classifications ; certes, il existait à cette époque des systémateurs rigoureux qui persistèrent à préférer la spéculation pure. Il n'en reste pas moins que la cristallographie suit une évolution constante vers la même forme. La théorie, au lieu de représenter l'histoire de la formation du cristal, ira au devant de nos observations, les provoquera, les devinera ; l'observation à son tour modifiera la théorie, qui n'aura d'autre usage que de relier par des lois fixes les échantillons variés que nous pouvons seuls étudier. « Si le raisonnement, dit Macquer, est en quelque sorte l'organe de la vue du physicien, l'expérience en est le toucher ; ce dernier sens doit constamment rectifier chez lui les erreurs auxquelles le premier n'est que trop sujet ; si l'expérience qui n'est pas dirigée par la théorie est toujours un tâtonnement aveugle, la théorie sans l'expérience n'est jamais qu'un coup d'œil trompeur et mal assuré. »

Les découvertes cristallographiques de la fin du XVIIIe siècle ne sont dues qu'à la réunion de ces deux grands secours ; si elles mettent en lumière certaines propriétés, certaines discontinuités essentielles de la matière ; si elles négligent d'enregistrer d'autres qualités des cristaux, elles créent un langage admirable qui ne sera plus modifié et servira de base à la science.

La cristallographie géométrique et descriptive sort définitivement de la période des tâtonnements infructueux et incomplets ; « elle s'élève avec Haüy au degré de généralisation d'où dérivent ces formules analytiques si bien assorties au véritable esprit des sciences, à l'aide desquelles une multitude de faits qui diffèrent en apparence

les uns des autres, viennent se ranger autour d'un fait unique qui leur sert comme de ralliement ».

7. La cristallographie ne se présente donc pas à nous pendant le cours du XVIII[e] siècle comme une science autonome, organisée, vivante, qui a sa personnalité propre et se développe suivant les lois d'une nécessité interne ; son évolution au contraire nous semblait de prime abord capricieuse, indéterminée. Un examen plus approfondi nous a révélé une analogie saisissante entre les grands courants philosophiques et les théories cristallographiques contemporaines. Une question se pose encore : pourrions-nous mettre en évidence l'influence du rôle social du savant et du rôle social de la science sur les recherches scientifiques elles-mêmes ? La solution d'un aussi vaste problème dépasse étrangement les conclusions fragmentaires et incomplètes que l'histoire de la science des cristaux peut se permettre ; nous ne pouvons songer à l'aborder (1).

Signalons simplement un trait qui a pu modifier l'aspect de la science des cristaux au XVIII[e] siècle ; les savants d'alors, s'ils ne dédaignent ni l'observation, ni l'expérience, ni les instruments de physique, sont cependant des amateurs, grands seigneurs ou riches fonctionnaires recherchant la vérité pour le seul plaisir de la connaître. N'ayant été soumis à aucune discipline rigoureuse et professionnelle qui impose une critique constante de la pensée, ils seront facilement séduits par des théories claires et générales plutôt que solides et précises. Leur science est objet de conversation avant d'être recherche technique. Leurs expériences, quoique nombreuses, visent plutôt à la satisfaction immédiate de leur curiosité, ou à

1. Dans une étude plus approfondie que celle-ci et englobant un grand nombre d'efforts scientifiques de tous genres, il nous faudrait rechercher quelles modifications sociales ont fait opposer la perfection que la plupart de classiques croyait atteindre dans chaque œuvre à la conception de « progrès indéfinis » rêvés par Condorcet, et qui rendaient chaque savant collaborateur de l'œuvre de l'humanité !

la vérification rapide de leurs idées préconçues, qu'à une vigoureuse et impeccable précision. Ils lancent en circulation une infinité d'aperçus originaux, qu'ils ne songent point à développer, et qui suffisent à occuper leur impatiente et active intelligence.

C'est ainsi que longtemps avant qu'Haüy n'ait exposé mathématiquement ses conceptions, elles existaient au moins à titre d'indication dans la plupart des travaux concernant la science des cristaux ; il n'eut qu'à les clarifier, les préciser, les soumettre à l'épreuve d'un calcul long, pénible et rigoureux, pour vérifier qu'elles donnent une notion exacte des cristallisations naturelles. Leur triomphe fut définitif. Notons que le succès d'Haüy qui aurait suffi à éloigner de la cristallographie une multitude d'amateurs répugnant aux grands efforts géométriques, coïncida précisément avec la disparition d'une classe d'oisifs sociaux qui occupaient leurs loisirs en étudiant les sciences de la nature. La science des cristaux sera désormais réservée aux seuls spécialistes, et confinée dans les Universités ; l'instruction que les lycées et les écoles donneront à leurs élèves négligera absolument les cristallisations.

8. Nous avons maintenant établi que l'histoire de la science des cristaux, comme l'histoire de toute la science, se rattache dans ses grandes lignes à l'histoire générale de l'humanité ; que seules parviennent au succès social les théories et les travaux se développant dans leur ensemble sur la route où les pousse la marche de la société ; que réciproquement les opinions et les méthodes, opposées ou en marge du courant actuel de la pensée, sont définitivement ou provisoirement vouées à l'oubli.

L'évolution de la science est donc en dernière analyse déterminée partiellement par les conditions humaines de son propre développement ; elle ne saurait ni suivre la voie rigide de la méthode pédagogique, ni les sentiers tortueux ou les impasses où la guideraient les fantaisies qui naissent au hasard dans un cerveau isolé.

Quoi qu'il en soit des fluctuations de l'expérience et du raisonnement, la science parvient quelquefois à atteindre la réalité ; et c'est d'ailleurs uniquement quand elle atteint la réalité qu'elle est véritablement la « Science » dans l'acception la plus large et la plus générale de ce mot. C'est ainsi que la cristallographie n'a pu, au point de vue scientifique, être réellement constituée avant d'avoir su dégager de ces recherches quelques vérités très simples : la loi de constance des angles dièdres, la loi des troncatures rationnelles, la loi de symétrie ; mais ces lois n'ont elles-mêmes été découvertes que lorsque l'homme s'avisa de vouloir étudier les qualités sensibles des corps, et déterminer avec précision leurs propriétés caractéristiques et spécifiques, en un mot alors que la description s'est substituée à l'explication. Les savants comparèrent donc la densité, les couleurs, les goûts, les odeurs et les formes des minéraux ; parmi les recherches engagées dans cette voie, les études morphologiques seules conduisirent à des résultats féconds susceptibles de systématisation géométrique laissant apercevoir immédiatement l'ensemble des figurations cristallines possibles. Les causes diverses qui provoquèrent l'éclosion de ces essais descriptifs ne peuvent à elles seules nous laisser prévoir le succès ou l'insuccès de ces tentatives analogues par leur objet et variables seulement par l'efficacité de leurs résultats ; et alors nous sommes amenés fatalement à interroger ainsi l'histoire des sciences : y a-t-il dans l'énoncé des problèmes que notre inlassable curiosité pose à la nature, quelque chose qui puisse laisser préjuger l'importance des réponses que nous fournira l'études des corps ? En d'autres termes, existe-t-il dans notre cerveau lui-même et indépendamment des objets sur lesquels notre science opère, des raisons qui font aboutir telle recherche à une impasse, et telle autre à une découverte importante ?

Ces questions sont trop vastes pour être susceptibles d'êtres résolues avec toute la précision désirable ; l'étude de la cristallographie vers la fin du XVIII[e] siècle semble

répondre que seule l'observation attentive et comparée découvre les particularités spécifiques de toutes sortes de cristallisations ; et que d'ailleurs l'ensemble des cristallisations trouve sa place dans un cadre préparé grossièrement à l'avance par un travail empirique ; elle nous indique que la science ne peut progresser qu'en précisant de plus en plus ses interrogations quantitatives, qu'en mesurant tout ce qui est susceptible de mesure, qu'en ne laissant dans le vage et l'indéterminé aucune notion positive. Voilà tout ! Si elle nous permet de préciser les conditions nécessaires à la découverte, elle ne nous garantit pas le succès qui dépend autant de la nature des choses que de la manière dont nous manions les choses.

Voici des résultats méthodologiques médiocres ; ajoutons pour diminuer leur portée qu'ils sont en somme particuliers à une science et à une époque ; plus précisément ils ne s'appliquent qu'au stade descriptif de la cristallographie, qui, systématisé, transformé en langage géométrique, renfermé en quelques formules précises, a pu servir de base indiscutable aux développements qui le dépassent ! Les considérations énergétiques et mécaniques qui jusqu'alors se perdaient dans des généralités vagues sans contact avec la nature ont été soumises au calcul dès qu'elles s'appliquèrent à des objets parfaitement définis par leurs qualités sensibles, et furent réintroduites dans la science qui les avait négligées lors de sa période d'élaboration.

Ne nous hâtons donc pas, au nom d'une critique étroite et par trop pragmatique, de déclarer sans valeur les efforts des savants cartésiens ou newtoniens, qui au point de vue objectif ont dépensé en pure perte leur esprit spéculatif ou généralisateur ; leurs travaux, stériles en apparence, n'ont-ils pas préparé la venue d'une nouvelle physique, en fournissant à la science un grand nombre d'aperçus ingénieux ou de raisonnements intéressants dans lesquels s'insère peu à peu un contenu positif et réel ?

Examinées ainsi, abstraction faite de leur valeur pratique ou quantitative, les opinions motivées d'autrefois présentent souvent un grand intérêt et sont rejointes par la science moderne ; nous avons vu par exemple que Buffon, pour des raisons philosophiques et chimiques, niait malgré les mesures la loi d'invariabilité des angles dièdres, base première de la cristallographie ; s'il eut tort de s'opposer à l'évidence et si l'existence de la science des cristaux prouve surabondamment la possibilité de cette science, les motifs d'une proscription si bizarre au premier abord sont pourtant parfaitement justifiés. Et d'abord Buffon prétend qu'une même espèce cristalline, telle que l'ensemble des spaths calcaires, n'a pas de composition fixe absolument déterminée ; la morphologie de ces corps n'aura donc pas de raison chimique d'être rigoureusement déterminée et se modifiera suivant les proportions variables des éléments constituants (1). Ensuite déclare à peu près Buffon les conditions dans lesquelles se forment plusieurs cristaux de même espèce sont sujettes à de grandes variations. Pourquoi alors, demande-t-il, leurs figurations seraient-elles constantes ? Si nous n'avons plus à réfuter ces objections sans applications pratiques immédiates, et qui auraient pu empêcher la curiosité de se porter sur l'étude de systématique des cristallisations, si de pareils raisonnements nous semblent aujourd'hui inoffensifs, nous pouvons constater impartiallement le juste sens critique dont leur auteur a fait preuve.

L'examen approfondi des cristaux ne nous a-t-il pas appris que « l'invariabilité des angles dièdres » peut être en défaut si nous mesurons les angles avec trop de précision ; la loi est valable entre certaines limites seulement ; ces limites sont assez étroites pour que la cristal-

1. La constance des formes cristallines semble paradoxale à Buffon qui ignorait comme les savants de son époque les lois de constance chimique, la loi des proportions définies en particulier.

lographie géométrique les ignore et néglige d'en tenir compte dans son exposé théorique ; mais les arguments de Buffon conservent au point de vue théorique un grand intérêt ; ils sont qualitativement utilisables. Buffon, si l'on peut s'exprimer ainsi, n'a fait qu'une erreur d'échelle; il a voulu appliquer à la théorie générale des formes cristallines, des restrictions logiquement justifiées qui n'atteignent, l'expérience l'a montré, que les détails difficilement mesurables des figurations cristallines ; mais cette généralisation erronée se présente dans ce cas comme un obstacle aux progrès ; elle n'incite pas aux recherches et nous satisfait sans effort.

Nous touchons là au vice fondamental de la science du XVIII[e] siècle ; les concepts de variation d'équilibre qui eurent alors une si grande vogue se présentent non comme des résultats expérimentaux, mais comme des déductions purement logiques, infiniment au-dessus des vérifications des mesures et des expériences ; l'étude et l'observation ne sauraient donc les modifier ; ils peuvent être en opposition avec quelques recherches bien faites ; mais qu'importe ? Ils sont qualitativement vrais et nous pouvons affirmer qu'ils seront une fois vérifiés ; il nous est toutefois impossible de préjuger de leur importance.

La théorie lancée dans cette voie va s'éloigner indéfiniment des recherches précises que le progrès et la diffusion des sciences font éclore de toutes parts ; elle ne saurait ni illustrer ni guider l'expérience qui cherchera à se passer d'elle ; il y aura discontinuité entre ces deux modes de recherches qui s'opposeront l'une à l'autre et ne se rendront plus de services ; de là le dédain que les cristallographes et les chimistes professent vers la fin du siècle pour la méthode contemplative ; de là aussi, par réaction, l'élargissement que quelques philosophes spéculatifs donnent à la cristallographie ; de là enfin la naissance d'une méthode positive qui peu à peu prend la place des méthodes explicatives d'autrefois.

Ainsi ce que l'on reproche aux conceptions mécaniques

ou corpusculaires de la cristallisation n'est pas leur erreur mais leur vague ; les conquêtes qu'elles ont acquis à la science sont désormais passées dans le langage courant où personne ne les aperçoit ; l'on se plaint donc que le seul maniement du raisonnement ne permet de prévoir actuellement aucun fait encore inconnu. Il est très facile, semble t-il, de montrer que nos connaissances s'expliquent grossièrement les unes par les autres ; mais cela n'est pas suffisant ; seules « l'orgueil et la paresse » se déclareront satisfaites de cette stérile et séduisante contemplation qui est en même temps dirigée sur les cristallisations et le système du monde (1) ; ce point de vue est trop large pour permettre à la science de progresser, car il n'aboutit qu'à des résultats déjà acquis et hors de discussion ; il est dépassé plutôt que faux. La cristallographie pour progresser exigera de plus modestes et de plus grands efforts ; elle se suffira à elle-même sans vouloir pénétrer désormais dans le domaine des autres sciences ; sa ligne de démarcation étant nette, elle s'interdira désormais de dépasser son objet. Les mesures précises, les classifications géométriques des formes, le dédain des hypothèses explicatives, désormais remplacées par des généralisations de faits systématiquement observés : voilà les caractéristiques de la méthode d'Haüy qui a transformé et rénové la science !

Ceci posé, devons-nous, à l'exemple de Bergmann, refuser toute valeur aux travaux raides, logiques, mécanistes et uniquement qualitatifs ? il ne le semble pas : une telle attitude serait la négation même du progrès. Le succès pratique, immédiat ne saurait nous permettre d'apprécier les conséquences lointaines d'une méthode actuellement inefficace.

L'histoire de la cristallographie n'a le droit de proscrire aucune recherche, aucune philosophie, aucune doc-

1. Voir à ce sujet les préfaces des différents ouvrages du célèbre chimiste Bergmann.

trine ; elle n'exclut *à priori* l'efficacité d'aucune méthode rationnelle et se contente de déterminer les conditions requises pour qu'une œuvre ait de l'influence ; or elle nous montre que les savants ne s'imposent à leur époque que s'ils rencontrent les grands courants d'opinions ou de pensée qui au moment de leurs travaux forment l'actualité ; ils n'ont de répercussion sur la science en formation que s'ils s'appuient sur elle ; s'ils s'isolent systématiquement des autres efforts humains, ils pourront créer des théories parfaitement coordonnées que la postérité découvrira avec stupeur et admiration, ils resteront sans action sur l'ensemble de leurs contemporains(1). D'autre part nous avons peine à lire aujourd'hui un ouvrage bâti partiellement sur des conceptions surannées que son succès même a pu modifier considérablement et peu à peu fait disparaître ; le livre de sciences a toujours chance d'être oublié quand il a épuisé son rôle bienfaisant ; il est dépassé par d'autres livres qui ont pu s'appuyer sur lui... Le savant, aussi grand qu'il soit, court le risque de n'être plus lu ; il est le collaborateur de l'humanité qui remanie sans cesse son œuvre, et non un artiste, susceptible d'atteindre à lui seul la perfection.

L'histoire des sciences devra donc s'intéresser davantage à la Société qu'à l'individu ; elle rappelle à tous ceux qui dévouent leur vie à la recherche de la vérité qu'ils ne travaillent pas pour eux seuls, qu'une recherche fragmentaire, incomplète, peut rendre à la science entière d'inestimables services ; elle encourage leur labeur, aussi limité soit-il. Sera-t-elle capable également de diriger leurs efforts ? Nous guidera-t-elle dans nos travaux futurs ? D'abord, Condillac l'a dit : « Il est essentiel pour quiconque veut faire par lui-même des progrès dans la recherche de la vérité de connaître les méprises de ceux qui ont cru jusqu'ici lui ouvrir la carrière. L'expérience

1. C'est ainsi qu'on peut expliquer que les théories de Lamarck et de Lamétherie sur l'évolution des êtres organisés eurent si peu de succès à l'époque de leur apparition ; elles ne sont pas du tout « style empire ».

du philosophe, comme celle du pilote, est la connaissance des écueils où les autres ont échoué ; et sans cette connaissance, il n'est point de boussole qui puisse les guider. »

Mais ce mérite en quelque sorte négatif de l'histoire des sciences, que les savants du XVIII[e] siècle semblent surtout avoir apprécié, et qui consiste simplement à éviter les erreurs de nos devanciers par la critique de leurs travaux, est-il le seul dont nous devons reconnaître la valeur ? ou, au contraire, l'étude raisonnée des théories de nos ancêtres est-elle susceptible à certains moments de nous montrer sous un nouveau jour certains problèmes scientifiques ou philosophiques ? L'histoire de la cristallographie nous a fait voir que les méthodes générales qui dans certaines conditions expérimentales ont achevé leur travail, deviennent stériles et meurent comme les plantes grasses méridionales, les agaves se dessèchent après que leur floraison brillante et tardive a laissé éparpiller les graines dont quelques-unes seules se développeront. Les acquisitions, et les précisions de la science moderne peuvent-elles raviver certaines notions dont les germes féconds ont disparus parce qu'ils n'ont pas été d'abord semés sur un terrain favorable à leur éclosion ?

A cette question difficile à résoudre nous ne pouvons répondre que par des conjectures peu assurées. Il est certain que la lecture des meilleurs travaux de nos devanciers, développe l'esprit scientifique et le dirige sans qu'il s'en doute vers des méthodes plus sûres d'elles-mêmes (1), il est probable, mais cela n'est pas encore prouvé, qu'une étude approfondie des théories et des résultats de la science qui a précédé la nôtre, nous donnerait plus de certitude dans la manipulation de nos principes ; peut-être même serait-il possible, à la lumière des connaissances récemment acquises, de résoudre certains problèmes,

1. M. Le Chatelier a publié sous le nom : *Les Classiques de la Science* divers recueils de morceaux choisis de célèbres savants, pour montrer aux étudiants la manière dont nos connaissances ont été acquises autrefois.

que faute d'instruments appropriés, la cristallographie a dû se résigner à abandonner.

Je citerai à l'appui de cette dernière suggestion tout l'intérêt que nous aurions à reprendre géométriquement en oubliant provisoirement les altérations que les complexités des phénomènes naturels imposent aux lois simples, et en ne tenant compte que des relations qu'ont entre elles les limites des différents milieux capables d'assimilation, la question posée par Sténon : « Un corps figuré d'une certaine manière est formé par la nature étant donné, trouver dans ce corps même les indices sûrs du lieu de sa formation et de la manière dont il s'est formé. »

Peut-on déterminer comme Sténon a tenté de le faire théoriquement et Nicolas le Blanc expérimentalement, les propriétés du millieu cristallogène dans ses réactions avec le milieu cristallin par le seul examen des cristaux ? Certes, il ne faudrait pas, comme la plupart des savants cartésiens, chercher à appliquer rationnellement des lois physiques dont nous n'aurions pas à l'avance la connaissance théorique, et que nous ne daignerions pas dégager avec précision. Certes, il ne faudrait pas limiter notre effort à l'explication d'un cas particulier, aussi intéressant soit-il. Certes, il ne faudrait pas arriver à l'examen des cas spéciaux en subtilisant habilement les notions générales que l'absence d'énoncés clairs rendrait inutilisables.

Au lieu, par exemple, de vouloir rendre raison des lois d'accroissement du quartz, nous essayerions de connaître les lois d'accroissement de tous les milieux théoriques susceptibles de grandir dans certaines conditions connues ; nous définirions comme le font les cristallographes les milieux isotropes, les milieux anisotropes et les milieux homogènes, réservant pour une approximation ultérieure la définition des milieux organiques dont on ne reconnaît la spécificité que par une certaine périodicité dans le temps ; puis nous déterminerions la loi d'accroissement d'un milieu isotrope grandissant en milieu isotrope, les lois d'accroissement des différents milieux anisotropes et homo-

gènes grandissant au sein de milieux anisotropes et isotropes ; nous tomberions comme cas particuliers sur l'ensemble des formes cristallines... et les résultats obtenus nous permettraient de définir avec plus de précision, en procédant par élimination, ce qu'est un milieu cristallin.

Ce n'est pas tout ; une telle étude rendrait de nouveau théoriquement solidaires la formation des cristaux et les figurations cristallines. Elle laisserait pour l'usage pratique la description séparée de la narration ; mais elle empêcherait que la morphologie soit considérée comme une science isolée et indépendante ; au contraire les deux points de vue s'éclaireraient mutuellement... une comparaison entre les résultats de nos calculs et les véritables cristaux nous apprendrait jusqu'à quel point les milieux cristallins différent des milieux idéaux, que nous prendrions comme base de nos calculs théoriques ; nous verrions que les lois d'assimilation établies abstraitement rendent compte en première approximation des phénomènes naturels ; mais aussi, au point de vue physique elles ne sont que des lois approchées ; si elles sont pour le géomètre rigoureuses, définitives, elles n'expliquent pas le détail de toutes les irrégularités remarquées chez les cristaux. Pour rendre raison des indéterminations de la Nature, nous serons toujours obligés d'invoquer dans chaque cas, ainsi que Bourguet l'avait pressenti, des conditions particulières dues au hasard qui ne se renouvelleront peut-être jamais.

9. Nous ne devons donc dédaigner aucune des méthodes qui se sont succédées dans la formation de la cristallographie. Judicieusement appliquées, elles concourent seules ou simultanément à répondre aux questions que l'esprit humain pose à toute la nature ; l'histoire de la science des cristaux nous a aidé à prendre conscience de la valeur et des limites dans lesquelles nos différents efforts aboutissent à un résultat fécond. Cette connaissance ser-

vira-t-elle à édifier plus rapidement la science de l'avenir ? Nous guidera-t-elle sur les terrains inconnus où nous dirigerons nos recherches ?

Il est actuellement impossible de le prévoir ; peut être rencontrerons-nous quelques difficultés sur lesquelles l'expérience acquise, ne nous a pas mis en garde ; peut-être est-il normal que nos observations, nos expériences et même nos raisonnements prennent naissance et se développent en une liberté apparente dont on pourra dégager plus tard seulement les conceptions directrices nécessaires. Quoi qu'il en soit de ces insolubles problèmes, l'histoire de la cristallographie au XVIII[e] siècle nous a montré que les progrès de nos connaissances rattachés d'une part à l'évolution de la pensée et de la Société, d'autre part aux phénomènes et aux faits sur lesquels nous construisons nos théories, aboutissent à des conclusions définitives. Une fois établies, les lois et les généralisations scientifiques demeurent hors de toute atteinte ; elles ne sont plus l'objet des discussions passionnées ou des polémiques ardentes qu'elles avaient tout d'abord suscitées. Elles se stabilisent et deviennent indifférentes aux philosophies ou aux méthodes qui se servent des vérités établies, comme d'outils, pour atteindre par tâtonnement d'autres vérités encore inconnues !

LISTE DES AUTEURS ET DES OUVRAGES CITÉS OU MENTIONNÉS DANS CE TRAVAIL

La bibliographie des travaux concernant de près ou de loin la science des cristaux dans le courant du XVIII[e] siècle est beaucoup trop riche pour que nous la donnions dans son ensemble ; l'index ci-dessous ne contient que les auteurs ou les ouvrages mentionnés dans le présent travail. Nombre de recherches ne présentent pas grand intérêt à elles seules, et leur étude n'a servi qu'à nous indiquer quelles préoccupations théoriques ou expérimentales dirigeaient la science d'une époque.

Si l'on veut consulter une liste plus étendue, voir l'index qui se trouve à la fin du troisième volume de la *Cristallographie* de ROMÉ DE L'ISLE.

On peut lire aussi l'ouvrage de KOBELL. *Geschichte der Mineralogie*. Munich, 1864 ; travail qui reproduit l'histoire des acquisitions définitives de la minéralogie au XVIII[e] siècle.

Pour les rapports de la minéralogie, la géologie, et la cristallographie naissante, voir DE LAUNAY, *La Science géologique*.

Pour la diffusion sociale de l'esprit scientifique au XVIII[e] siècle consulter D. MORNET, *Les Sciences de la nature en France au XVIII[e] siècle*.

Les articles extraits des recueils :

Histoire et Mémoires de l'Académie royale des Sciences sont désignés par A. D. S.

Transactions philosophiques anglaises, T. P.

Journal de physique, J. P.

Collection académique de Dijon, C. O. L.

ACHARD, cité p. 75. — *Lettre sur l'analyse de quelques pierres précieuses*, J. P., 1778.

AMONTONS, cité p. 133.

BAKER, cité p. 144. — *Emploiement for the microscope.* Londres, 1753, in-8. — L'édition française porte comme titre : *Le Microscope à la portée de tout le monde.*

BARRÈRE, cité p. [52-55] [118-119]. — *Observations sur l'origine et la formation des pierres figurées.* Paris, 1746, in-8.

BARTHOLIN (E.), cité p. [35-36] 128-141.

a) *Sur un corps semblable au cristal venant d'Islande*, T. P., 1670; C. O. L. 2.

b) *Observations sur le cristal d'Islande.* — *Curieux de la nature*, 1671, C. O. L. 3.

c) *Sur la forme de la neige* [d'après MAIRAN], 1661, in-8.

BAUMÉ, cité p. [173-176] 179-184.

a) *Réflexions sur l'attraction et la répulsion qui se manifestent dans la cristallisation des sels*, J. P., 1773.

b) *Chimie expérimentale et raisonnée.* Paris, 1777, 3 vol. in-8.

BAUMER, cité p. 64. — *Minéralogie*, 1760.

BAZIN, cité p. [33-34]. — *Manière de faire un caillou artificiel*, A. D. S., 1739.

BECCARIA, cité p. 40-72. — *Observations sur la double réfraction du cristal de roche*, T. P., 1762; J. P., 1772.

BELLINI, cité p. 143. — *De gustus organo ad Malpighium.* 1655, in-12.

BERGMANN, cité p. 40-75-82-86-88-117-122-229.

a) *Sciagraphie du règne minéral*, traduction de MONGEZ, notes de LAMETHERIE. Paris, 1792.

b) *Attractions électives.*

c) *Opuscules physiques et chimiques*, édités par GUYTON DE MORVEAU. Dijon, 1780.

BERNOUILLI, cité p. 153.

BERTHOLLET, cité, p. 89-91-218.

BERTRAND, cité p. 7-61-120.

a) *Sur la formation des montagnes.* Zurich, 1754, in-8.

b) *Dictionnaire oryctologique.* La Haye, 1763, in-8.

BŒCE DE BOOT, cité p. 58-97. — *Le parfait joaillier.* Lyon, 1644, in-8.

BONNET, cité p. 122. — *Contemplation de la nature.* Genève, 1764.

Bourguet, cité p. 16-40-[44-52] 55-72-80-88-[102-105]-116-118-[151-155]-166-184-188-216-217-218-233.

a) *Lettres philosophiques sur la formation des sels et des cristaux.* Amsterdam, 1729.

b) *Traité des pétrifications* (avec Cartier). Paris, 1745.

Borrichius, cité p. 9-[24-27]-99-110-117-[131-132]-213.

a) *Observations sur la formation des pierres dans la terre et dans le corps des animaux.* Actes de Copenhague, 1677, C. O. L., 4.

b) *Sur l'eau glacée et sa congélation.* Actes de Copenhague, 1671, C. O. L., 6.

Boyle, cité p. 28. — *An essay about the origine and virtues of gems.* Londres, 1672; analysé dans les T. P., 1672.

Browne, cité p. 24. — *Traité des erreurs populaires.* Londres, 1686, in-folio ; Paris, 1733, 2 vol. in-12

Buffon, cité p. 12-40-[70-73]-86-88-105-112-116-117-120-171-227.

a) *Histoire naturelle*, vol. II, *reproduction des êtres vivants*, 1749.

b) *Epoques de la nature*, 1775.

c) *Les minéraux*, (5 vol.) 1778-1784.

Buquet, cité p. 64. — *Introduction à l'histoire naturelle des corps tirés du règne minéral*, 1771, 2 vol. in-12.

Cappeler, cité p. [41-44]. — *Prodromus crystallographie de crystallis impropriè sic dictis commentarium.* Lucerne, 1717, in-4; analysé dans T. P., 1717.

Carangeot, cité p. 67.

Cartheuser, cité p. 62. — *Elementa mineralogie*, 1755, d'après Romé de l'Isle.

Condillac, cité p. 230.

Condorcet, cité p. 223.

Cronstedt, cité p. 64-68-86-122-143. — *Essai d'une nouvelle minéralogie*, traduit par Dreux. Paris, 1771; édition suédoise, 1753.

Cuvier, cité p. 91-123.

Dalembert, cité p. 94.

Daubenton, cité p. 57-91-122.

a) *De la connaissance des pierres précieuses*, A. D. S., 1750.

b) *Tableau méthodique des minéraux*, avec un programme d'études des nouvelles écoles centrales. An IV.

Demeste, cité p. [75 à 76]. — *Lettres au Dr Bernard sur la Chimie, la Docimasie, la Cristallographie, la Lithologie et la Physique en général.* Paris, Didot, 1779, 2 vol.in-12.

Descartes, cité p. 16-51-55-117-[127-129]-141-156-171-213-218. *Les Météores.*

Dezallier d'Argenville, cité p. 61.—*L'Oryctologie.* Paris, 1755, in-4°.

Diderot, cité p. 13.

Dutens, cité p. 74. — *Des Pierres précieuses et des Pierres fines.* Paris, 1776, in-24.

Encyclopédie, cité p. 7.

Florence, cité p. [132-133]. — *Les travaux de l'Académie*, 1667 à 1670, C. O. L. I.

Fontenelle, cité p. 32.

Francheville, cité p. 57. — *Dissertation sur le sel.* Académie de Berlin, 1765, C. O. L., 9.

Gahn, cité p. 82 (d'après Bergmann).

Geoffroy, cité p. [29-31]-34.

a) *Sur l'origine des Pierres,* A. D. S., 1716.

b) *Essai sur la formation artificielle du Silex,* A. D. S., 1746.

Ghedini, cité p. 100. — *Sur les belemnites.* Académie italienne, 1706, C. O. L., 10.

Gontran de Robien, cité p. 57-122. — *Dissertation et nouvelles idées sur la formation des fossiles.* Paris, 1751, in-12.

Grew (N.), cité p. 129-140. — *Sur la figure de la neige,* T.P., 1673; C. O. L., 6.

Gueneau de Montbeillard, cité p. [112-113]-115-116-171-184. — *Avertissement aux œuvres de Swammerdam,* C. O. L., 5, 1755.

Guettard, cité p. 57-61-120. — Ses travaux, A. D. S., 1751 à 1757.

Guglielmini, cité p. 166. — *De salibus dissertatio epistolaris physico mecano mechanica,* 1707, in-8.

Guyton de Morveau, cité p. 65-68-[165-170]-171-172-178-184-218.

a) *Digressions académiques* Dijon, 1762, in-12.

b) *Elemens de Chimie.* Dijon, 1777.

Haller, cité p. 107. — *Réflexions sur le système de génération de M. de Buffon.* Genève, 1751, in-12.

Hauy, cité p. 41-44-[80-84]-85-87-88-89-122-123-153-162-165-

167-171-179-185-188-[193-206]-208-210-219-222-224-228.
a) *Essai d'une théorie sur la structure des Cristaux*, 1783, in-8.
b) *Exposition abrégée de la structure des Cristaux*, 1793, in-8.
c). *Traité de Minéralogie*, 4 vol. in-8, 1801.
d) *Traité de Cristallographie*, 4 vol. in-8, 1822.
e) *Ouvrages nombreux et articles dans le* J. P. — A. D. S. et Journal des Mines.

Henckel, cité p. [55-57] mort en 1744. — Ses œuvres ont été traduites en français par d'Holbach en 1773.

Hill, cité p. [64-65]-74.
a) *Fossils arranged according to their obvions charactus* (d'après Romé de l'Isle), 1771, in-8.
b) *Spatogenesia* Londres, 1771, J. P., 1774.

Hire (de la) cité p. [36-39] 40-43-52. — *Observations sur une espèce de talc qu'on trouve communément proche Paris au-dessus des bancs de pierre à plâtre*, A. D. S., 1710.

Holbach, cité p. 55-57.

Homberg, cité p [142-143]-161.
a) *Sur la figure du Sel-marin*, A. D. S., 1702.
b) *Essais de Chimie*, A. D. S., 1706.

Huygens, cité p. 36. — *Double réfraction du cristal d'Islande*, A. D. S , 1674.

Jussieu (de), cité p. [39-41]. — *Reflexions sur plusieurs observations concernant la nature du gypse*, A. D. S., 1719.

Justi, cité p. 62. — *Minéralogie* (en allemand), 1757, in-8.

Kern, cité p. 74. — *Traité de la topaze de Saxe* (en allemand), 1776, in-4°.

Kirvan, cité p. 86. — D'après Romé de l'Isle.

Lamark, cité p. 71-230.

Lametherie, cité p. 41-[87-90]-[114-116]-153-154-171-[184-188]-218-230.
a) *Notes et Appendice à la Sciagraphie de Bergmann.*
b) *Mémoire sur la Cristallisation*, J. P., 1781.
c) *Principes de Philosophie naturelle*, 1787, 2 vol.in-8, Genève.
d) *Théorie de la terre*, 1795, in-8, 3 vol.
e) *Discours préliminaire historique des travaux scientifiques de l'année*, J. P., 1787 à 1817.
f) *Innombrables ouvrages et articles dans le J.P.*

Lana (le Père), cité p. 28-67-130.— *Réflexions sur la formation des Cristaux*, T. P., 1673; C. O. L., 4.

Lassone (de), cité p. 35-[73-74]. — *Grès de Fontainebleau*, A. D. S., 1774 et années suivantes.

Lavoisier, cité p. 24-65-91-132-172-173-[176-180].

a) *Observations sur quelques circonstances de la cristallisation des Sels*, J. P., 1773.

b) *Traité élémentaire de Chimie*. Paris, 1789, 2 vol. in-12.

Le Blanc, cité p. 5-[180-184] 232.

a) *Cristallotechnie*, 1802.

b) *Articles de Cristallotechnie dans le J. P.*, 1787, 1788, 1802.

Ledermuller, cité p. 144. — *Amusemens microscopiques*. Nuremberg, 1763, in-4°.

Leewenhoec, cité p 46-51-99-104-[143-144] 215.

a) *Observations microscopiques sur la figure du sel marin, et du sucre, et sur la cause probable de la différence de leurs goûts*, T. P., 1675, C. O. L.

b) *Sur les différentes figures des sels contenus dans diverses substances*, T. P.

c) *Sur les particules du sucre cristallisé*, T. P.

Lehmann, cité p. [63-64]. — *L'art des Mines ou introduction aux connaissances nécessaires pour l'exploitation des mines métalliques*. Paris, 1759, 3 vol. in-12.

Leibniz, cité p. 49-100. — *Son idée sur l'origine des pierres que l'on trouve empreintes des figures de plantes et d'animaux*,, A. D. S., 1706.

Lémery, cité [146-149] 151-166. — *Observations nouvelles et singulières sur la dissolution des sels dans l'eau commune*, A. D. S., 1716.

Linné, cité p. 60-62 68-69. — *Système de la nature*, vol. III. *Les Minéraux*, 1737.

Macquer, cité p. 68-[163-165] 222.

a) *Elémens de Chimie théorique*. Paris, 1749, in-12.

b) *Dictionnaire de Chimie*. Paris, 1762-1778.

Mairan (Dortous de), cité p. 10-[134-141] 142-166-213-218. — *Dissertation sur la Glace*, 1716-1749; analysé dans A. D. S., 1749.

Malebranche, cité p. 49.

Marsili, cité p. 151. — *Histoire physique de la mer*. Amsterdam, 1725, in-4°.

Mehr, cité p. 101, d'après Réaumur.

Metzger (H. Bruhl), cité p. 71. — *Une théorie curieuse de la double réfraction chez Buffon.* Bulletin de la société française de Minéralogie, juin 1914.

Monnet, cité p. 69-122. — *Nouveau système de Minéralogie.* Paris, 1779, in-12 ; analysé dans J. P., 1780.

Montesquieu, cité p. 57. — *Remarques on stones of angular figur foundnew Bagneres in Gascony*, T. P. 1743.

Mornet (D.), cité p. 118.

Muralt, cité p. 27. — *Sur les montagnes de Suisse appelées Gletcher*, T. P., 1669 ; C. O. L., 2.

Newton, cité p. 49-55-153-156-166-171-175-246. *Optique.*

Ohmb, cité p. 28. — *Sur une stalactite ferrugineuse tirée des mines de la Slyrie*, T. P., 1675 ; C. O. L., 4.

Paulian, cité p. 11.

Petit, cité p. [149-151]. — *Mémoire sur la végétation des sels*, A. D. S , 1722.

Pini, cité p. 74. — *Mémoires sur de nouvelles cristallisations de feldspath et autres singularités renfermées dans les granites des environs de Bavéno.* Milan, 1779, in-8.

Pott, cité p. 57. — *Lithogéognosie*, traduit de l'allemand. Paris, 1753, in-8.

Prechtl, cité p. 196. — *Théories de la Cristallisation.* Journal des Mines, 1810.

Réaumur, cité p. [31-33] 101.

a) *Sur la nature et la formation des cailloux*, A. D. S., 1721.

b) *Sur la rondeur que semblent affecter certaines espèces de pierre et entre autres sur celle qu'affecte le caillou*, A. D. S., 1723.

c) *Sur la formation et l'accroissement des coquilles*, A. D. S..., 1709.

d) *Eclaircissement de quelques difficultés sur l'accroissement et la formation des coquilles*, A. D. S., 1716.

Redi, cité, p. 11-112. — *Exposé chimique sur les sels factices*, traduit en français, C. O. L., 6, 1755.

Robinet, cité p. 11-65-121. — *De la nature.* Paris, 1761.

Romé de l'Isle, cité p. 60-[65-69] 71-72-75-76-80-[84-86] 89-111-121-122-123 131-153-154-165-179 [189-192]-193-194.

a) *Essai de cristallographie.* Paris, 1772, in-8; analysé dans J. P., 1772.

b) *Cristallographie.* Paris, 1783, 4 vol. in-8.
c) *Des caractères extérieurs des minéraux ou Réponse à cette question : « Existe-t-il dans les substances du règne minéral des caractères qu'on puisse regarder comme spécifiques ».* Paris, 1784, in-8.
d) *Très nombreux catalogues de collections.*

Rouelle, cité p. 41-[155-162] 168-216. — *Mémoires sur les sels neutres et la cristallisation du sel marin,* A. D. S., 1744-1745.

Sage, cité p. 75-122. — *Elémens de Minéralogie docimastique,* 1772, in-8.

Sauvages, cité p. 57. — *Sur la formation des dendrites des environs d'Alais,* A. D. S., 1745.

Scheuchzer, cité p. 29-100.
a) *Idée de la dissertation du Cristal,* A. D. S., 1708.
b) *Sur les pierres figurées,* A. D. S., 1708.

Sennebier, cité p. 144, 215. — *Préface à la traduction des opuscules de physique,* par Spallanzani. Paris, 1777.

Sherley, cité p. 94. — *A philosophical essay declaring the probable causes whence stones are produced in the greater world.* Londres, 1672.

Stahl, cité p. [155-156], mort en 1734. — *Traité des sels,* traduit de l'allemand. Paris, 1771.

Sténon, cité p. [16-23] 43-51-55-67-80-98-117-212-214-218-232.— *Dissertation sur les solides enfermés par la nature dans d'autres corps solides.* Florence, 1669, C. O. L. 4. Une édition en langue anglaise a été publiée en 1917 avec des notes intéressant l'histoire des sciences.

Swammerdam, cité p. 104-112.

Tillingis, cité, p. 27. — *Sur la formation des pierres,* C. O. L. 3. Curieux de la nature, 1665.

Tournefort, cité p. [94-98] 103-116 117-121-213. — *Quelques observations sur l'accroissement et la génération des pierres.* A. D. S. 1700-1702.

Valmont de Bomare, cité p. 12-64-122.
a) *Dictionnaire d'histoire naturelle.*
b) *Minéralogie,* 1762, 2 vol. in-8.

Vogel, cité p. 64. — *Mineral system.* Leipzig, 1762, in-8.

Wallerius, cité p. [6-10]-[58-60] 68-122-143.— *Minéralogie,* 1747, en Suédois ; traduction française par d'Holbach, 1753.

Werner, cité p. [76-79] 80. — *Traité des caractères extérieurs des fossiles,* édition allemande 1773 ; française, 1790.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

Pages

1. — Généralités sur la Science des cristaux au milieu du XVIII^e^ siècle 5
2. — Il n'y avait pas au XVIII^e^ siècle de hiérarchie scientifique, et chaque savant rattachait directement son sujet au système du monde qu'il avait adopté ; exemples pris dans l'Histoire de la Cristallographie.
   Les différentes sciences s'éclairaient mutuellement tant bien que mal, par des analogies plus ou moins grossières . 10
3. — La classification des problèmes, fournie dans le présent ouvrage est nécessairement arbitraire et n'a été choisie que comme formant un cadre commode, où l'on se retrouve facilement 12

SECTION I

La cristallographie se dégage peu à peu de la minéralogie.

1. — Généralités. 15
2. — L'œuvre de Sténon. — Sa méthode déductive et universelle. — Sa théorie explique à la fois la formation et la forme des cristaux. — Son peu d'influence. 16
3. — Autres théories de la fin du XVII^e^ siècle. — Elles sont toutes aussi raides mais très variées. — Borrichius Tilingis. — Muralt. — Charles Ohmb. — Robert Boyle. — Venette. — Scheuchzer 23
4. — Théories générales de la formation des pierres et des cristaux au début du XVIII^e^ siècle. — Geoffroy et son « suc cristallin ». — Réaumur et ses observations sur la formation des cailloux. — Vérification expérimentale de cette théorie par Bazin 29
5. — Études spéciales. — Découverte de la double réfraction du spath d'Islande par Bartholin. — Découverte de la double réfraction de la pierre à plâtre par de la Hire. — Sa théorie de la cristallisation du gypse. — Celle de De Jussieu. . 34
6. — Cappeller le premier étudie les cristaux en général au seul point de vue descriptif. — Son œuvre 41

7. — L'œuvre de Bourguet. — Sa curiosité universelle. — Son explication de la forme des cristaux. — Il parle d'abord du cristal de roche et généralise sa théorie à toutes les cristallisations. — Introduction de molécules infiniment petites agissant en masses énormes. — Théorie lamellaire des cristaux 44

8. — Barrère n'a pas de prétentions philosophiques; il se contente d'observer et de raisonner ses observations. — Des descriptions précises et observations attentives 52

9. — Un mot sur l'œuvre du célèbre Henckel. — Il est mineur avant d'être minéralogiste ou cristallographe. — Explication esthétique de la formation des pyrites, physique des autres cristaux. 55

10. — Diffusion de la minéralogie vers le milieu du XVIII^e^ siècle. — Grand nombre de travaux partiels. — Le besoin d'un ouvrage d'ensemble se fait sentir. — La minéralogie de Wallérius. — Curiosité universelle et philosophique. — Elle n'est dominée par aucun principe. — Examen des questions posées et non résolues. — Classification des minéraux. — Descriptions claires. — Autres ouvrages. — Dictionnaires d'histoire naturelle. — Et travaux chimiques. 57

11. — Les classifications des minéraux. — Linné et la forme cristalline. — Cartheuser n'examine que le tissu. — Justi reste dans le vague. — Lehman ne s'intéresse qu'à l'analyse des corps et proscrit toute recherche morphologique. — Cronstedt n'a qu'une méthode empirique. — Hill examine tous les caractères des cristaux et les réunit en tableau. . . 61

12. — Romé de l'Isle introduit la méthode positive en cristallographie. — Il débarrasse la science de l'arbitraire et de la théorie. — Loi d'égalité des angles dièdres. — Il veut lui donner une réciproque qui est démentie par les faits et qui nuit au succès de sa méthode. — La réaction. — Dédain de Monnet pour la cristallographie géométrique. — Opposition de Buffon et théorie qu'il oppose à Romé de l'Isle . . . 65

13. — Études spéciales. — De Lassone et les grès de Fontainebleau. — Il essaye de voir le rapport entre la forme et la composition de ces cristaux. — Analyse d'autres travaux . . . 73

14. — Werner et son œuvre. — Il classe les cristaux d'après leurs caractères extérieurs. — Il s'intéresse aux formes, ne les étudie pourtant pas avec précision et examine avec soin toutes les qualités sensibles des minéraux. — C'est un mineur qui ne pense qu'à la pratique de son art. — Les minéralogistes sont désormais, soit chimistes, soit descripteurs. — Ces derniers seuls nous intéressent 76

15. — Haüy inaugure la méthode descriptive et constructive moderne. — Les rapports de son œuvre et de la minéralogie. — La théorie devient géométrique et se libère de l'histoire naturelle de la physique. — Les derniers travaux de Romé de l'Isle — Trois caractères suffisent à définir les cristaux: saveur, dureté, densité 80

16. — La minéralogie et la cristallisation universelle de Lamétherie. — Son succès de peu de durée. — Lamétherie fait une grande place dans le journal de physique aux cristallisations minérales. — Tentatives non réussies pour vulgariser la minéralogie cristallographique. — Elimination de ces

théories trop vastes. — La minéralogie entre dans sa période moderne 87

SECTION II

La cristallographie se détache peu à peu de l'Étude des Êtres vivants.

1. — L'idée que les cristaux se reproduisent par germes existait avant le XVIII[e] siècle, Th. Sherley, mais elle trouva son expression complète dans l'œuvre de Tournefort *L'Inorganique calqué sur le vivant.* — La circulation, la nutrition et la reproduction des minéraux 93

2. — Confusion entre les trois règnes de la nature. — Différenciation lente. — Venette. — Sténon. — Leewenhoec. — Borrichius. — Ghedini. — Scheuchzer. — Leibnitz. — Réaumur 98

3. — L'œuvre de Bourguet, définitions des cristaux et des êtres vivants. — Le mécanisme et la cristallisation. — Le mécanisme organique. 102

4. — *Le mécanisme organique calqué sur le mécanisme minéral.* — Buffon. — Objection de Haller. — Les « molécules organiques » calquées sur les molécules cristallines sont-elles aussi la cause de la figuration des cristaux ? — Généralisation des théories de Buffon. — La cristallisation spontanée et la génération spontanée. — Guéneau de Montbeillard. — Lamétherie. — Ce dernier considère la vie comme un cas particulier de la cristallisation universelle. — Théorie extrême opposée à celle de Tournefort. 105

5. — Opinions moyennes. — Goût du public pour l'histoire naturelle. — Les observations préférées au raisonnement. — Causes de cette évolution. — Les cabinets d'histoire naturelle contiennent des fossiles et des cristaux. — Leur différenciation. — Barrère et Buffon. — Les minéralogistes ne s'intéressent plus qu'aux minéraux. — Lutte contre la réaction. — Bertrand réfuté par Guettard. — Robinet par Romé de l'Isle 116

6. — Les naturalistes admettent l'indépendance absolue des trois règnes de la nature et oublient parfois d'indiquer dans leurs préfaces en quoi le brut diffère essentiellement de l'organisé. — Robien. — Wallérius. — Cronstedt. — Bonnet, etc. — Discussion géométrique de Romé de l'Isle. — La cristallographie devient une science autonome . . . 122

SECTION III

La cristallographie se détache peu à peu des sciences physiques

1. — Influences réciproques des sciences physiques et naturelles pendant le XVIIIe siècle. — Généralités 125
2. — Les théories de la congélation de l'eau. — Théories mécaniques Descartes. — Il ne voit aucun rapport entre la fusion et la dissolution, entre la congélation et la cristallisation. — Théories chimiques Nehemiah Grew. — Le père Lana. — La formation de la glace d'après Borrichius. — Pesées précises et rigoureuses. — Recherches expérimentales de l'Académie de Florence. — Leur grande valeur et leurs résultats. — La *Dissertation sur la glace* de Mairan. — Elle établit l'unité des phénomènes cristallographiques. . 127
3. — Etude des cristallisations salines. — Théories chimiques de Homberg. — Sa répercussion sur les sciences naturelles. — Théorie corpusculaire de Leewenhoec. — Ses recherches microscopiques. — La théorie de Lémery quoique de forme cartésienne se ressent des dernières découvertes au microscopes. — Recherches expérimentales de Petit. — Le comte de Marsili et les théories lamellaises. 141
4. — L'œuvre de Bourguet. — Les tendances nouvelles qui s'y manifestent. — Applications de la loi de Newton. — Elle n'aboutit à aucune précision mais établit l'unité de la science. — Recherches de laboratoire. — Stahl ne s'éloigne pas de l'expérience. 151
5. — L'œuvre expérimentale de Rouelle. — Classification des sels d'après leurs formes cristallines et leur cristallisation. — L'eau de cristallisation. — Les différentes sortes de dépôt des solutions par évaporation. — Etudes du sel marin. — Macquer vulgarise les théories de Rouelle 155
6. — Guyton de Morveau et les *Digressions académiques*. — On sent dans cet ouvrage les trois tendances, mécaniques, corpusculaires et expérimentales de la science du XVIIIe siècle. — Sa théorie de la cristallisation fait peu à peu place à l'étude de la structure 165
7. — Les deux courants scientifiques de la fin du XVIIIe siècle. — La philosophie et les généralisations. — La cristallisation sert de modèle aux théories de la combustion. — Le phlogistique. — Baumé, l'attraction et la répulsion. — Expériences. — Réfutation de l'interprétation de ces expériences par Lavoisier. — Nicolas Le Blanc et la cristallotechnie. — Recherches sur les relations d'équilibre entre les milieux cristallins et les milieux cristallogènes. — Lamétherie et « la cristallisation universelle ». — Tous les phénomènes sont dus à la cristallisation de la matière. — Lois chimiques et physiques de la cristallisation. 170
8. — La formation de la cristallographie géométrique. — L'œuvre

de Romé de l'Isle dans ses rapports avec les sciences physiques. — Elimination des théories de la cristallisation. — Dédain de la chimie. — Loi de constance des angles dièdres. — Abstraction de la mécanique remplacée par la description. — L'œuvre d'Haüy. — Analogies et différences de sa méthode et de la méthode cartésienne. — Exposé de cette théorie. — Les particules intégrantes. — Les particules soustractives. — Lois de symétrie. — Loi des troncatures rationnelles. 189

CONCLUSION

1. — L'œuvre d'Haüy, par sa réussite brillante, a rejeté dans l'ombre les travaux de ses devanciers. — Les historiens qui font commencer l'histoire d'un concept à l'époque de son élaboration définitive négligent l'effort des précurseurs moins heureux. — Peut-il y avoir intérêt à reconstituer les théories de nos ancêtres qui sont dépassées aujourd'hui? . . 208

2. — Les premiers cristallographes. — Universalité de leur curiosité, de leurs questions, de leurs théories. — Indépendance intellectuelle de chaque savant. — Epanouissement d'hypothèses et de théories logiques et vraisemblables. — Pourquoi chacune d'elles exerce-t-elle si peu d'influence? — Absence de hiérarchie scientifique. — Le système du monde atteint par chaque étude particulière 210

3. — L'absence de méthodes propres à la cristallographie livre le domaine de cette science aux doctrines philosophiques régnantes ; nous pourrons les dégager des ouvrages que nous avons étudiés 211

4. — Philosophie mécanique. — La cristallographie et la méthode cartésienne. — Observations superficielles. — Absence de technique expérimentale. — Raideur et puissance des théories. — Leur force déductive. — Leur faiblesse d'adaptation. — Leur vigueur. — Leur stérilite en tant que source de progrès 212

5. — Philosophie corpusculaire. — Causes externes des modifications de la théorie. — La découverte du « microscopique » et les théories corpusculaires — La loi d'attraction universelle. — Son application dans l'infiniment petit. — Les lois du hasard. — Résultats. — Négligence des détails. — Vues d'ensemble opposée à la mécanique minutieuse. — Dédain des observations se rapportant à un seul cas. — Goût pour les généralisations immédiatement applicables. 215

6. — Philosophie expérimentale — Rôle de la diffusion des sciences encouragée par la philosophie elle-même, sur l'évolution de la philosophie et de la science. — Les expérimentateurs et observateurs rassemblent leurs travaux en faisceaux avant de discuter sur la cristallisation. — La perception opposée au concept. — La science sensualiste préfère la classification à la theorie. — Essais de classifications arbitraires — Ordre alphabétique — Essais de classifications

rationnelles. — La cristallographie géométrique d'Haüy. — La théorie n'a d'autre objet que de relier nos observations par les lois fixes 219

7. — La cristallographie et l'histoire de la Société. — Ce sujet est trop vaste pour être abordé dans une étude spéciale. — Traités caractéristiques des savants du XVIII^e siècle. — Ce sont des amateurs qui n'ont pas de carrière à remplir. — Disparition au moment des succès d'Haüy d'une classe d'oisifs qui cultivaient la minéralogie pour occuper leurs loisirs. 223

8. — L'histoire de la cristallographie dans ses rapports avec les progrès de nos connaissances. — Il n'y a de véritablement scientifique que les progrès définitivement acquis. — Existe-t-il un procédé pour atteindre à coup sûr les lois de la nature ? — Succès des méthodes positives à la fin du XVIII^e siècle. — Peut-on les généraliser et refuser toute valeur aux autres manières de travailler ? — Raisons opposées à cette conclusion. — Les anciennes méthodes donnent des résultats qualitativement vrais. — Discussion d'un cas particulier. — Pourquoi la science qualitative tend-elle au XVIII^e siècle à s'éloigner indéfiniment de l'expérience. — Elle ne peut servir de guide immédiat à nos recherches. — Elle est supplantée par la science quantitative. — Cette dernière complète la première et ne s'y oppose pas. — Elles ont toutes deux leur valeur. — Si l'histoire des sciences ne peut nous fournir une méthode de travail sûre, si elle n'exclut *à priori* aucun effort, peut-elle nous indiquer les problèmes scientifiques intéressants à résoudre. — Discussion. — L'expérience historique fait éviter certaines erreurs. — La connaissance historique nous ramène quelquefois à l'énoncé simple d'un problème que les complications nous avaient fait perdre de vue. — Exemple. 224

9. — Conclusions 233

Index alphabétique des auteurs cités. 235

Joseph FLOCH, Maitre-Imprimeur à Mayenne - 18-12-1969 - n°3590